Die Abhängigkeit der Wirbeltheorie des Descartes von William Gilberts Lehre vom Magnetismus.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität
Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Marie-Luise Hoppe
aus **Markoldendorf** (Hann.).

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

Halle a. S.
Hof-Buchdruckerei C. A. Kaemmerer & Co.
1914.

Referent: Geh. Reg.-Rat Professor Dr. **E. Dorn.**

Tag der mündlichen Prüfung: 3. Dezember 1913.

Herrn Professor Dr. Edmund Hoppe

in Hamburg.

Literatur.

A.

R. Descartes, Principia Philosophiae, ed. III., Amsterdam 1656 und Philosophische Schriften, deutsch von Kirchmann, 1870.

W. Gilbert, Tractatus sive physiologia nova de magnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure. Ed. Lochmann, Stettin 1628.

J. Kepler, Astronomia Nova, Prag 1609.

—,— Harmonices Mundi Libri V, Linz 1610.

B.

Gerland, Geschichte der Physik, 1892 und 1912.

Heller, Geschichte der Physik, 1882,

E. Hoppe, Die Entwicklung der Lehre von der Elektrizität bis auf Hauksbee, Hamburg 1887.

A. von Humboldt, Kosmos, Stuttgart 1845.

K. Laßwitz, Geschichte der Atomistik, 1890.

Rosenberger, Geschichte der Physik, 1882—90.

Schaller, Geschichte der Naturphilosophie, 1841.

Whewell, Geschichte der induktiven Wissenschaften, Stuttgart 1840—41.

C.

Feldhaus, Die Begründung der Lehre vom Magnetismus und der Elektrizität durch W. Gilbert, 1908.

Goldbeck, Keplers Lehre von der Gravitation, Halle 1896.

L. Günther, Die Mechanik des Weltalls, Leipzig 1909.

A. Hoffmann, René Descartes, Stuttgart 1905.

—,— Die Lehre von der Bildung des Universums . . ., Arch. f. Phil., 17.

Reuschle, Kepler und die Astronomie, 1871.

Plan.

Seite

A. Einleitung 7

B. Ia. Die Magnettheorie Gilberts 8

b. Die Magnettheorie des Descartes 29

IIa. Kosmische Physik bei Gilbert 41

b. Kosmogonie des Descartes 46

IIIa. Physikalische Grundvorstellungen bei Gilbert . . 52

b. Physikalische Grundvorstellungen bei Descartes . 58

C. Schluß 60

A.

Die Philosophie des Descartes bedeutet den Beginn einer neuen Epoche des wissenschaftlichen Denkens und beherrscht dasselbe in Frankreich, Holland und England bis zur Zeit Newtons und über ihn hinaus. Bei den deutschen Denkern auch, wie bei Leibniz und Kant noch, sind deutlich ihre Spuren, ihr Einfluß zu verfolgen. In der großartigen Geschlossenheit ihrer Deduktion macht sie den Eindruck völliger Selbständigkeit und Originalität. Und doch ist sie in ihren einzelnen Vorstellungen organisch hervorgewachsen aus Ideen, die vor Descartes und in seiner Zeit geboren wurden im Kampf zur Überwindung des Aristoteles. Bedeutsam und charakteristisch ist für seine Philosophie die naturwissenschaftlich-mathematische Seite. Seine Physik ist auch heute noch von Interesse, denn wenn die moderne Naturforschung die Erscheinungen des Lichtes, der Elektrizität und des Magnetismus, der Wärme und der Elastizität auf Bewegung von Atomen, Elektronen u. dergl. zurückführt, so kehrt sie damit zu einem Grundgedanken des Descartes[1]) zurück. Ausdehnung und Bewegung sind die einzigen Eigenschaften der körperlichen Substanz, die in Teilchen verschiedener Größe den Raum kontinuierlich erfüllt. Mit dieser letzteren Ansicht steht Descartes freilich im Gegensatz zur heutigen vorwiegend atomistischen Auffassung. Wie er zu seiner Korpuskulartheorie gekommen ist, und die Entwicklung derselben im Anschluß an die Ideen der durch Gassendi z. B. mächtig wiederauflebenden Atomistik

1) Den dieser freilich schon in anderer Form vorfand.

hat Laßwitz gezeigt.[1]) Auch für andre Gedankenreihen des kartesianischen Systems macht er auf Vorarbeiten und Anregungen aufmerksam. Doch einen Einfluß habe ich weder bei ihm noch in irgend einer Geschichte der Physik erwähnt gefunden, das ist der William Gilberts. Descartes selber gibt an 2 Stellen an, daß er die Arbeit des Engländers über den Magnetismus kannte und bewunderte,[2]) wie weit aber die Verwandtschaft zwischen den Ideen beider geht, soll die folgende Untersuchung zeigen.

B.

Im Jahre 1600 erschien in London zuerst das Buch des Leibarztes der Königin Elisabeth, W. Gilbert: De magnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure nova physiologia,[3]) das sich in auffallender Weise von den früheren naturwissenschaftlichen Arbeiten unterscheidet. Es ist wohl das erste physikalische Werk, das durchaus wissenschaftlichen Charakter im modernen Sinn trägt. Gilbert befolgt bewußt und konsequent die empirisch-induktive Methode, die 20 Jahre später sein Landsmann Francis Bacon, den „wahren, aber unbetretenen" Weg der Forschung nennt. Dabei bleibt er nicht bei den Einzelresultaten stehen, sondern sucht diese in einer umfassenden, möglichst einfachen Theorie zu vereinen. Und Gilbert ist ein sehr geschickter, erfinderischer Experimentator, und seine einfache, allgemein gehaltene Theorie, die sich eben deshalb ungekünstelt der Erfahrung anpaßt, weiß er wieder zielbewußt zu neuen Versuchen und Entdeckungen auszunutzen. Sie bestimmt auch seine Gruppierung der magnetischen Erscheinungen, wie sie der Einteilung seines Buches zugrunde liegt.

---

1) Gesch. der Atomistik II, S. 87 ff., S. 110 ff.

2) Princ. Phil. IV, §§ 166 und 168, S. 256 f. der deutschen Ausg. von Kirchmann.

3) Über Verbreitung und Auflagen des Buches vergl. Feldhaus, a. a. O.

Ia. Die Magnettheorie Gilberts.

Als seine wichtigste Entdeckung, die den Ausgangspunkt seiner Theorie bildet, bezeichnet er die Erkenntnis, daß die Erde die wahre Ursache der magnetischen Bewegungen sei, die communis mater der magnetischen Körper![1]) Sie ist selber ein großer Magnet, dessen Pole und Meridiane (s. S. 10) und Breitenkreise mit den geographischen zusammenfallen,[2]) sodaß diese nicht mehr bloße mathematische Fiktionen zur Orientierung sind. Es ist ein gewisser fester, „homogener" Bestandteil des Erdkörpers, der die magnetische Eigenschaft besitzt. Wir nennen ihn Magnetstein oder Eisen, je nach der Art, wie ihnen die natura magnetica zukommt. Diese besteht in der Fähigkeit, ein gewisses Agens, ein unkörperliches „effluvium" auszusenden und ist eine Eigenschaft der Form, der inneren Anordnung der Teile.[3]) Diese Annahme findet ihre wesentliche Stütze darin, daß durch Glühen der Magnetismus zerstört wird nicht durch Vernichten bestimmter Stoffteilchen — denn die magnetische Fähigkeit kehrt langsam zurück — sondern durch Deformation, Störung der inneren Ordnung: „Sed ignis in lapide destruit magneticas vires, non quia partes aliquas praecipuas attractrices convellit, sed quia totius formam materiae demolitione deformat rapida vis flammea" (II, 4, p. 69). Das effluvium muß unkörperlich sein, da die magnetischen Wirkungen auch durch feste Körper hindurch erfolgen[4]) und das Gewicht des Magneten konstant bleibt. Der Ausfluß bewegt sich, fließt nur in einer gewissen Umgebung des magnetischen Körpers, dem orbis virtutis,[5]) (Magnetfeld!) und zwar hat dieser, wie die Wirkung auf eine

1) Wie neu diese Erkenntnis war, zeigt das I. Buch. Desc. übernimmt sie. S. S. 29 d. Arb.

2) Gilbert (a. a. O.) II,8—13 und VI,4 u. a.

3) a. a. O. II,2 u. II,4. p. 67. Vergl. Teil III a.

4) a. a. O. II,4, p. 68 unten, II,7, p. 79, 6. Z. v. u.

5) a. a. O. II,7, p. 79 u. a.

NB. Die latein. Ziffern bedeuten das Buch, die deutschen das Kapitel bei Gilbert.

kleine bewegliche Magnetnadel zeigt, — das „versorium", — bei einem Kugelmagneten kugelförmige Gestalt, bei einem länglichen bleibt die Grenze überall in gleichem Abstand vom Magnet. Die Anziehungswirkung des Magneten ist nicht überall die gleiche, an 2 Stellen, die die Endpunkte einer Axe sind, den Polen, ist sie besonders stark,[1]) an allen Punkten der Linie, die auf dem Magneten durch den Schnitt mit einer Ebene senkrecht zu jener Axe (der Äquatorebene) bezeichnet wird, verschwindet sie ganz.[2]) Dort tritt demnach kein wirkendes effluvium aus, während der Kraftstrom an den Polen am dichtesten ist; an den dazwischen liegenden Stellen wächst die Kraft mit der Annäherung an den Pol so, daß sie in Parallelkreisen konstant ist: „ . . . vires quae, in eodem parallelo eiusdem semper sunt potentiae . . ." (p. 99).[3]) Weiter zeigen die beiden Pole verschiedene Wirkung, der eine zieht einen bestimmten Pol eines zweiten Magneten an, den der andere abstößt. Danach ergibt sich folgendes Bild für den Gang der „Kraftlinien" (um einen modernen Ausdruck zu gebrauchen)[4]): Sie treten von der Äquatorebene kommend an allen Punkten der Oberfläche aus — abgesehen vom Äquator —, doch indem sie sich nach innen um die Axe herum zusammen drängen. Außen gehen sie, wie die Gestalt des orbis virtutis (und später z. B. die vorausgesagte Inklination (s. S. 18 der Arb.) beweist, kreisförmig[5]) zum andern Pol, resp. dem ihrer Austrittsstelle entsprechenden Punkte der Oberfläche, zurück, wo sie wieder eintreten. Denn ein Magnet schickt nicht nur die Kraft aus, sondern nimmt sie auf in jedem orbis virtutis,[6]) also auch im eigenen. So bewegt sich die Kraft in einem Wirbel[7])

1) I,3, p. 13, 7. Z. v. o.; II,5, p. 74, 9. Z. v. u.

2) II,28, p. 98, 9. Z. v. u.

3) Vergl. II,11, p. 82.

4) III,2, p. 120 und Figur p. 77.

5) II,7, p. 79, Z. 3 ff.; V,11, p. 196.

6) II,26 Schluß, p. 97. Vergl. S. 12, Anm. 2 (Gilbert II,16, p. 87).

7) II,5, p. 75, 11. Z. v. u. Der Magnet als Sitz eines „vertex" bezeichnet.

durch und um den Magneten, deshalb nennt Gilbert auch die Fähigkeit (die zur primaria forma magnetica gehört!), die Ursache und Antrieb dieser Bewegung ist, die „innata verticitas", die eingeborne Wirbelkraft. Da sie dem Kraftstrom seine feste Richtung gibt, und diese die Lage und Bewegung der magnetischeu Körper zueinander bestimmt, nennt Gilbert sie auch: „disponens vigor",[1]) Ursache der directio magnetica". Es ist zu beachten, daß die verticitas insofern eine doppelte ist, als der Umlaufsinn des Wirbels ein zweifacher ist; von der Äquatorebene fließt die Kraft nach beideu Polen: „. . . ita ut istae omnes in Septentriones intendant vires, illae vero adversa ratione in Meridiem, . . ." (p. 75, II, 5). (Vergl. S. 17 der Arb.)

Die magnetischen Körper unterscheiden sich, wie oben erwähnt (s. S. 9 d. Arb.) durch die Art, wie ihnen die primäre magnetische Form zukommt. Der Magnetstein, der in selbständigen Minen oder mit Eisenerzen zusammen in der Erde vorkommt,[2]) hat diese Form in ausgeprägter Weise (magnes est nobilis vena ferraria . . ., p. 22) und so die potentia, das magnetische Fluidum dauernd auszusenden. Doch ist der eigentliche homogene Erdstoff,[3]) der die magnetische Eigenschaft hat, vermischt mit andern steinigen, z. B. schwefelhaltigen Bestandteilen, — wie der große Magnet, die Erde, selbst als communis mater alle möglichen nicht magnetischen Bestandteile enthält. Das Eisen, wie es in den Minen gefunden und in den Öfen erschmolzen wird, d. h. durch das Feuer „a terrenis sordibus repurgata", (p. 21) zeigt zunächst nur schwache oder gar keine magnetische Wirkung. Der Grund ist, daß die primaria forma gestört (confusa) ist.[4]) So bedarf es erst der direkten Einwirkung eines Magneten, um selbst wie ein solcher zu wirken, und — solange die Form

1) III,2, p. 120.

2) I,16, p. 38; III,2, p. 120 Mitte, u. a.

3) I,17, p. 41 Mitte.

4) II,26, p. 97, 2. Z. Vergl. die moderne Vorstellung präformierter Molekularmagnete.

geordnet bleibt — besitzt es die facultas magnetica auch in dem Sinn, daß es selber durch eignes effluvium magnetisch wirkt.[1]) Das „Ordnen der Form" erfolgt durch das Hineinfließen des Fluidums, das in dem Wirkungskreis strömt, in den das Eisen gebracht wird („magnetico influxu" III, 10; p. 136). Auch hier ist wieder zu beachten, daß dieses Hineinströmende nichts Körperliches ist.[2]) Den Beweis liefert die Tatsache, daß das Gewicht eines Eisenstabes vor und nach der Magnetisierung das gleiche ist. Daß wirklich eine Veränderung im Innern des Eisens vorgeht, zeigt sich daran, daß weder durch Waschen noch durch Abreiben mit Sand ihm die erworbenen Kräfte genommen werden: „Fusa enim vis est per universum corpus et in intimis partibus concepta." (p. 123, 2. Zeile v. unt.) Und zwar zeigt der Versuch, daß sie „instanter inest" und „non temporis intervallo intermittitur" (p. 125; III, 3) — wie etwa die Wärme! Das ist nach der Theorie auch durchaus möglich, da ja keine generatio, keine Neuerzeugung etwa der Form des Magneten an Stelle der des Eisens vorliegt,[3]) — Fracastorius hatte in dieser Auffassung jede Änderung des Eisens durch den Magneten überhaupt abgelehnt —, sondern eine „restitutio et reformatio formae confusae". Diese leicht vor sich gehende restitutio kann natürlich ebenso leicht rückgängig gemacht werden. Es geschieht dies mit der Zeit von selbst, durch Glühen wird es sehr beschleunigt: „Ferrum violente fervore perculsum confusam habet formam et perturbatam";[4]) (s. S. 9) und durch den Einfluß eines zweiten Magneten, in dessen Wirkungssphäre das magnetisierte Eisen gebracht wird, kann die erste Ordnung zerstört werden und das Eisen im entgegengesetzten

---

1) III,4, p. 128, 13. Z. v. u. und II,26, p. 97, 6. Z.

2) III,3, p. 123 unt. (s. Teil IIIa). Gilberts Auffassung hier deckt sich mit der heutigen „Fortsetzung der Kraftlinien im Magneten". cf. II, 16, p. 87: „magn. virtus per magnetica corpora procedit et continuatur." Für Desc. s. S. 33 d. Arb.

3) II,4, p. 70, 10. Z. ff. Vergl. die Theorie der präf. Molekularmag•

4) II,4, p. 70, 2. Z.

Sinne erregt (excitum) werden, wenn die beiden Kraftrichtungen grade anders auf ihn treffen, als die entsprechenden des ersten Magneten. Gilbert drückt dies aus mit den Worten: „Ferrum magnetico influxu excitum verticitatem habet validam satis, non tamen adeo stabilem, quin adversae partis affrictu (non tantum potentioris magnetis sed eiusdem!) immutetur et exuatur omni pristina verticitate et nova adversa induatur". (III, 10.) Von besonderm Interesse ist bei dieser Erklärung, daß sie auch die reine Induktionswirkung umfaßt, denn im ganzen Magnetfeld, wo die vis magnetica fließt, nicht nur bei Berühren oder Streichen[1]) mit dem Magneten (etiam sine tactu . . ., p. 73) tritt die Magnetisierung, die „conceptio" virtutis magneticae ein.[2]) Diese Aufnahme ist ausdrücklich nicht nur als ein Durchgang-Gewähren aufzufassen, sondern so, daß das Eisen dadurch fähig wird, selber die Kraft auszusenden, anzuziehen, zu magnetisieren u. s. f. (vergl. das: ipso actu vires refundit, p. 97).[3])

Nachdem so die Grundvorstellungen über die Ursache der magnetischen Erscheinungen entwickelt sind, handelt es sich jetzt darum, diese im Einzelnen näher zu betrachten und zu erklären.

Die bekannteste ist die sog. Anziehung (attractio), d. h. die Tatsache, daß der Magnetstein Eisen anzieht und, wie Gilberts Versuche weiter lehrten, daß zwei Magnete, deren entgegengesetzte Pole man einander nähert, sich zu berühren streben: „Contrarii enim poli contrarios alliciunt". (I, 5, p. 17). Den Ausdruck „attractio" für diesen Vorgang weist Gilbert energisch zurück und setzt dafür das schwer zu übersetzende Wort „coitio" mit folgender Begründung:[4]) „Quia in magneticis motus non fit per facultatem attractricem sed per utriusque concursum aut concordantiam, non ut sit unius tantum *ἑλητικὴ δύναμις*, sed utriusque *συνδρομή*, vigoris semper

1) Über Methoden des Magnetisierens s. III,17, p. 148 f.
2) III,17, p. 149.
3) II,26, p. 97 und III,4, p. 128 Mitte. Vergl. S. 12 d. Arb.
4) Siehe die vorausgeschickten Wortorklärungen Gilberts (B_2).

coitio, corporis etiam, si moles non obstiterit.“ Wie denkt er sich dies Zusammengehen der Kräfte, dem das der Körper folgt, wenn der Widerstand der trägen Masse nicht zu groß ist? Es beruht auf dem Streben des magnetischen Fluidums, solange wie möglich in einem Magneten zu fließen, — ein Gedanke, den die moderne Physik durch die Vorstellung der verschieden großen magnetischen Leitfähigkeit („Permeabilität“) ausdrückt.[1]) — Gilbert sagt auch davon: Es ist das Bestreben des Zusammenpassenden, sich zu vereinen, ein Bestreben zur Harmonie und Übereinstimmung, das allem Naturgeschehen zugrunde liegt. „Non est coitio corporis ad corpus violenta inclinatio . . ., non hic vis infertur corporibus . . .: Sed ille est concentus et virium praecipuarum convenientia mutua (I, 4; p. 70). Dieses Streben wird in der Tat durch die Berührung zweier entgegengesetzter Pole erfüllt, denn sie ermöglicht der magnetischen Kraft, durch beide Magnete wie durch einen hindurchzufließen! Die gleiche Möglichkeit ist bei der Berührung des Magneten und eines Eisenstückes gegeben, deshalb ziehen auch diese sich an. Eine Wirkung der beiden Körper, besser ihrer primären Eigenschaften, ist also diese Anziehung in der Tat, denn eben nur Körper, die diese forma primaria haben, werden angezogen, haben Einfluß auf den Gang der Kraftlinien. Auf alle unmagnetischen Körper bezieht sich die Bemerkung: „. . . neque enim in eorum viscera ingressum habet magnetis vigor[2]) neque ab illis concipitur magnetica forma . . ., neque si ingrederetur quicquam efficeret, propterea quod in illis corporibus primariae qualitates nullae sunt“ (III, 13, p. 141).

Wie schon in der Darlegung der allgemeinen Theorie gesagt wurde, zieht nicht nur der Pol eines Magneten an,

---

1) Nach heutiger Auffassung geschehen die Bewegungen so, daß $\frac{1}{8\pi}\int B\,H\,d\tau$ (B = magn. Induktion, H = magn. Kraft, $d\tau$ = Volumelement) über den ganzen Raum ausgedehnt ein Maximum wird. Die Analogie mit Gilberts Vorstellung liegt auf der Hand.

2) Das entspräche einer „Permeabilität $\mu = 0$“ (statt 1).

sondern abgesehen vom Äquator jeder Punkt der Oberfläche. Überall tritt ja die virtus aus und hat die Fähigkeit, einen andern leicht beweglichen magnetischen Körper zur Berührung mit ihrem Magneten zu bringen, indem sie lieber durch jenen geht als durch die ihr nicht verwandte umgebende Luft, und so, wo sie auch fließt, „ad unitatem“ wirkt.[1]) Allerdings beweist der Versuch, daß die coitio am kräftigsten am Pol wirkt. Nicht etwa ist das der Fall, — es ist gut, es zu wiederholen, da dieser Punkt in der Tat von großer Bedeutung in der Theorie Gilberts ist, — weil etwa eine besondere Kraft ihren Sitz in den Polen hätte! Dagegen spricht schon die Möglichkeit, die Stellen stärkster Anziehung durch Teilung des Magneten zu verlegen. (Näheres dazu s. S. 23 d. Arb.). Sondern weil alle Teile des ganzen Magneten ihre Kräfte „nach dem Pol richten“, wächst dessen Kraft: „... ex confluentibus ab äquinoctialis plano versus polum viribus vigor increscit“. Oder, mit einem Bilde: „... polo vis insidet ab omnibus aliis partis attributa quemadmodum milites omnes imperatori suo subsidium ferunt“.[1]) Daraus wird auch klar, daß ein länglicher Magnet stärker an seinen Polen anzuziehen vermag als ein runder oder breiter von gleicher Größe und magnetischer Stärke. Denn die auf dem längeren Weg von Pol zu Pol gesammelten Kräfte bleiben unzerstreut in dem engeren Raum vereint,[2]) und: „unita vis fortior excellit!“ So wird auch in einem länglichen Eisenstab durch denselben Magneten eine stärkere Magnetisierung bewirkt, als in einem runden, daher auch die nadelförmige Gestalt die geeignetste Gestalt ist für ein Instrument, das möglichst leicht den magnetischen Einflüssen folgen soll, das sog. versorium.

Doch nur die Kraft der coitio ist am stärksten an den Polen, infolge der dort vorhandnen größten Dichte der Kraftlinien,[3]) während am Äquator die andre Fähigkeit der virtus

1) II,14, p. 84 Mitte.

2) II,15 und II,31, p. 101 und II,14, p. 84, 8. Z. v. u.

3) Nach heutiger Fassung auch infolge des „stärksten Gefälles der magn. Energie.

magnetica, die „directio“ oder „disponeus vigor (s. S. 11 d. Arb.) am größten ist. Gilbert unterscheidet immer scharf,[1]) — nicht stets zum Vorteil für die Erklärung der Erscheinungen! — zwischen ihr und der Kraft der coitio, die eine „facultas mutuo alliciens ad contactum“ ist. Er sagt von ihr; „Dirigens virtus quae et verticitas a nobis dicitur, est ab innato vigore fusa virtus ab äquatore utrinque versus polos. Vigor ille versus terminos utrinque incumbens motum directionis facit“. (p. 120). Um dieser Bewegung der Einstellung in eine bestimmte Richtung willen war es nötig, die Wirbelbewegung des magnetischen Agens in der oben beschriebenen Art anzunehmen, statt einer beliebig nach allen Seiten ausfließenden Kraft wie bei den electrica.[2]) Wie die Anziehung des Magneten war sie schon lange bekannt, jedenfalls für die Erde, als die „directio in polos“, die beim Kompaß verwertete Einstellung eines Magneten in die Nord-Süd-Richtung, in den Meridian, die auch zur Unterscheidung der Pole diente.[3]) Diese Einstellung beruht in dem Bestreben und der Fähigkeit des magnetischen Kraftflusses, andre bewegliche Magnete mit ihren Axen in die Richtung seiner Bewegung einzustellen, um den bequemsten, beiden Wirbeln angemessensten Weg zu finden. Dabei fällt nicht nur ins Gewicht, daß die Kraft kreisförmig in den Meridianebenen fließt, sondern daß dies in den beiden Richtungen, von Norden nach Süden und umgekehrt, geschieht. Die Stelle eines Magneten, die sich stets nach dem Nordpol der Erde richtet, ist ein Südpol,[4]) eine Austrittsstelle für den Kraftstrom, der auch am Südpol der Erde austritt, am Nordpol hinein. Würde man den Magneten aus dieser seiner natürlichen Lage herausdrehen, z. B. um 180°, so müßte er von selbst sich wieder zurückdrehen, weil seine Wirbel sonst im Gegensatz zu denen der Erde ständen.

1) Kepler tut es ihm nach, cf. Astr. Nova, p. 272.

2) II,2, p. 62. Vergl. dazu Hoppe, a. a. O. S. 7.

3) Gilbert nennt noch richtig den nach Norden zeigenden Pol einen Südpol, mit ihm Descartes. Vergl. S. 11 der Arb. zum Folgenden.

4) III,4, p. 128 Mitte.

Durch sehr langes erzwungenes Liegen in dieser falschen Lage wird der Gegensatz allerdings dadurch ausgeglichen, daß der stärkere Magnet, — im obigen Fall die Erde —, die Primärform des andern umkehrt, sodaß die Eintritts- und Austrittsstellen der Kraftlinien vertauscht werden. Das ist derselbe Prozeß wie bei der Ummagnetisierung des Eisens, wo er freilich wesentlich rascher sich vollzieht: „Nam vires innatae et longissimo tempore insitae inhaerent firmius“ (III, 10, p. 137).

Aus dem Gegensatz der beiden[1]) Strömungen wird auch die Abstoßung zweier gleichnamiger Pole verständlich. Die „Richtkraft“ ist es, die die Magnete durch Drehung, — falls ihre Axen so zu einander geneigt sind, daß ein Drehmoment vorhanden ist, — oder gradlinige Abstoßung in eine solche Lage zu bringen sucht, daß ihre Kraftrichtungen in Übereinstimmung zusammen wirken[2]) können oder sich wenigstens nicht stören. Die Abstoßung geht langsamer vor sich als die coitio der gleichen Magnete,[3]) nach Gilberts Meinung, weil bei dieser beide Fähigkeiten, die der Anziehung und die des Richtens, im selben Sinne der Vereinigung der Magnete wirken, bei der „fuga et aversatio“ dagegen kommt nur letztere zur Geltung, oder im Fall der möglichen Drehung ist die richtende Kraft „coitionis praecursor“.[4])

Prüft man nun im Einzelnen[5]) mit dem versorium genau die Richtung der Kraftlinien eines Kugelmagneten, so erhält man — wie es bereits allgemein angedeutet wurde — folgendes Resultat: Grade vor den Polen hat die Kraft die Richtung der Axe, die Magnetnadel zeigt also genau auf den Erdmittelpunkt, der auch der „Mittelpunkt, der Magnetkräfte“[6]) ist. Rückt man in einer Meridianebene ab vom Pol, so bildet die Axe einen Winkel mit der Nadel, der mit dem Abstand vom

1) Heute nur eine magn. Indukt.-Strömung.

2—4) II,32, p. 102.

5) III,9, p. 133 ff., auch II,6, p. 78.

6) II,27, p. 17 unten. Eine — tatsächlich unrichtige — gegen B. Porta gerichtete Bemerkung.

Pol wächst, bis er am Äquator 90° beträgt. Es ist aber die Kraft der Richtung damit durchaus nicht schwächer geworden, — im Gegensatz zur Anziehung — wie aus der Theorie klar folgt und der Versuch es auch bestätigt.

Als den größten Erfolg seiner Theorie sieht Gilbert an, daß er mit Hilfe dieser Beobachtungen voraussagen konnte, an jedem Ort der Erde, abgesehen vom Äquator, müsse eine geeignet, z. B. an einem Faden, aufgehängte Magnetnadel sich schräg zur Horizontalebene im Meridian einstellen. Er nennt diese Bewegung, die tatsächlich nur für einige Punkte der Erde schon zu seinen Lebzeiten beobachtet wurde, die „declinatio" des Versoriums. Erst im Jahre 1608 wurde sie bestätigt durch die Beobachtungen Hudsons in hoher Breite,[1]) vermutlich mit Hilfe des von Gilbert zu diesen Messungen erfundenen Instrumentes.[2]) Aber mit der größten Bestimmtheit spricht Gilbert es aus: „Nam certum est hoc et perpetuum, quod exacte sub aequatore coelesti vel potius super aequatorem terrestris globi declinatio magnetica sive ferrea nulla est, ..." (p. 182). Der Grund ist, daß auf dem Äquator der magnetische Körper gleichweit von beiden Polen entfernt ist, sodaß keiner stärker wirken kann. Sobald der Magnet aber in eine gewisse Breite vom Äquator fort gebracht wird, also einem Pole näher kommt,[3]) neigt er sich dem Erdkörper zu, und zwar natürlich im Meridian und mit dem richtigen — dem benachbarten der Erde entgegengesetzten — Pol. (Es folgt daraus, daß diese Richtungen ein Eisenstab einnehmen muß, um möglichst günstig magnetisiert zu werden. V, 6; p. 79.) Für die gesetzmäßige Beziehung zwischen der Deklination und der geographischen Breite, die Gilbert behauptet, führt er seine genauen Versuche mit einem Kugelmagneten und Versorium an und begründet sie an der Hand seiner Theorie. Es ist klar, daß der Nordpol eines kleinen Magneten den Südpol der terrella berührt. Dabei

1) cf. Laßwitz, a. a. O. I, p. 318.
2) Beschreibung desselben V,1, p. 180 ff.
3) V,1, p. 183 oben.

fallen die Axen beider in eine Richtung, wie oben gezeigt. Hat man die geographische Breite der Magnetnadel um 90° geändert, d. h. befindet sie sich am Äquator, so zeigt der Nordpol nach Süden, beide Magnetaxen sind parallel.[1]) (Siehe Figur S. 184). Sie fallen wiederum in eine Richtung nach einer weiteren Verschiebung um 90°, der Nordpol ist jetzt der terrella abgewandt. Während der Mittelpunkt der Nadel also um 90° um den Kugelmagneten herumgeführt ist, hat ihr Nordpol eine Drehung von 180° ausgeführt um das Zentrum der Nadel. Die Drehung derselben erfolgt also schneller als ihre Bewegung im Meridian, d. h. die declinatio unter den Horizont beträgt nicht ebensoviel Grad wie die Breite.[2]) Hiernach gibt Gilbert in seinen Figuren 9 und 10 eine Konstruktion der Deklinationsrichtung für jeden Punkt des Meridians an. Eine weitere Folge der Ansicht Gilberts von dem kreisförmig fließenden Agens im Magnetfeld, die sich durch seine Versuche bestätigt fand, veranschaulicht Figur 12 (S. 198). Die auf demselben Radius, aber in verschiedenem Abstand vom Zentrum sich befindenden Magnetnadeln richten ihre Spitzen nicht auf denselben Punkt,[3]) sondern stets nach den Stellen ihrer eigenen Kreise, die um gleiche Bogenwinkel von der gemeinsamen Axe entfernt sind. Wichtig sind diese Beziehungen, weil sie als ein neuer Beweis dafür gelten können, daß die declinatio nicht eine Bewegung vom Horizont direkt zum Erdmittelpunkt ist,[4]) sondern herrührt von der Einstellung des magnetischen Körpers zur ganzen Erde entsprechend den magnetischer Eigenschaften derselben, d. h. den bestimmten Wirbelbewegungen. Und zwar sind es wirklich nicht die anziehenden Kräfte, sondern die virtus disponens et convertens, die diese Bewegungen, die volutationes magneticas, bewirkt. Wäre das nicht so, so müßte ein gleich großer, aber stärkerer Kugelmagnet das Versorium stärker zu sich

1) V,6, p. 190 und V,2, p. 184.
2) p. 191 oben, V,6.
3) p. 197, V,11.
4) V,1, p. 180, 17. Z.

heranziehen. [Hier beachtet Gilbert nicht die Wirkung des 2. entfernteren Poles! Vergl. Gerland, Gesch. d. Physik p. 84]. Ebenso zeigt sich, daß ein stumpfer, breiter Magnetpol eine größere Deklination verursacht infolge der stärkeren Krümmung der Kraftlinien, als ein spitzer, der jedoch am Pol stärker anzieht entsprechend der größeren Dichte der austretenden Kraftlinien. (s. S. 15 u. a.) Auch müßte ja das Versorium am Magneten haften, wenn eine Anziehung die Drehung unter den Horizont bewirkte.[1]) Das ist jedoch auch nicht der Fall, sondern sie neigt sich nur, soweit „die Natur es fordert", also entsprechend der geographischen Breite und der zugehörigen Richtkraft. Die Theorie Gilberts würde diese Erscheinungen fordern, die sie nun, wo das Experiment sie tatsächlich zeigt, aufs beste erklärt![2]) So kann er mit Recht triumphieren, daß niemand mehr seine Fundamente einer Theorie des Magnetismus verachten oder bestreiten könne. Und dazu wirft die Kenntnis der Deklination ein neues Licht auf den wunderbaren Zusammenhang zwischen Magnet und Erde, deren magnetische Wirkungen unzweifelhaft feststehen und hier zu einem Teil haben vorausgesagt werden können. Die eminente Bedeutung dieser Entdeckung[3]) für die Schifffahrt rühmt schon Gilberts Zeitgenosse Wright in dem Vorwort des vorliegenden Buches: für die Wissenschaft war sie vielleicht noch höher anzuschlagen.

Während Gilbert in der Überzeugung, die Erde sei ein großer Magnet, bei all seinen Versuchen, zumal den die Richtkraft betreffenden, Rücksicht darauf nahm, fiel ihm auf, daß ihre Wirkung im Verhältnis zu ihrer Größe doch nur sehr schwach ist. Sonst lehrt die Beobachtung,[4]) daß bei gleichwertigen Magneten, d. h. solchen, die sich wenig durch Verunreinigungen unterscheiden, — oder wenn es Eisenmagnete sind, durch die Stärke ihrer Magnetisierung, — die Wirkung

1) p. 189, V,5.
2) V,1, p. 180.
3) Heller schreibt sie J. Hartmann zu, a. a. O. p. 397.
4) II,29, p. 99.

wächst mit der Größe, (. . . mole crescente augetur etiam vigor magnetis. II, 22) während sie abnimmt mit wachsender Entfernung,[1]) wie es auch durchaus im Sinne der Theorie ist. — Die diesbezüglichen zahlreichen Versuche Gilberts[2]) bilden die Vorstufe der späteren quantitativen Messungen Coulombs, die zu seinem Gesetz $F = k \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{r^2}$ führten. Die Erde allein scheint eine Ausnahme zu machen. Dafür hat nun Gilbert eine Erklärung gefunden, die sich in seine übrigen Vorstellungen zwanglos einreiht und von besonderem Interesse dadurch ist, daß sie sich später nur noch wieder bei Descartes findet.[3])

Aus dem bisher Dargestellten zeigt sich, daß ein wesentlicher Unterschied besteht im Verhalten zweier magnetischer Körper je nachdem, ob sie einander genähert werden oder direkt durch engste Berührung wie zu einem vereinigt sind. Veranschaulicht wird das z. B. durch folgenden Versuch: Zwei Eisenstäbchen, die an demselben Pol eines Kugelmagneten haften, streben mit ihren freien Enden auseinander, denn diese sind gleichnamige Pole. Sind die Stäbchen nur kurz, und hält man sie zunächst mit Gewalt zusammen, so haften sie ganz fest aneinander, „amice uniuntur, magnetice enim ferruminantur," sodaß sie als ein einziger Magnet nur einen Kraftstrom aussenden.[4]) Dieser Unterschied besteht nach Gilbert auch zwischen den inneren Teilen der Erde und denen der oberen Kruste.[5]) Die inneren wirken alle als Ganzes zusammen, während die äußeren der Erdrinde von ihnen angezogen und

1) II,33, p. 105.

2) II,30—33.

3) Pr. phil. IV, p. 166.

4) III,8, p. 132: „At obeli illi si sunt paulo longiores (veluti duorum digitorum) et vi conjungantur, cohaerent et amice uniuntur, nec sine vi separantur." Aus Anlaß dieser Stelle bei Gilbert wurden mit einem starken Elektromagneten Versuche angestellt im Phys. Inst. zu Halle, die die Angabe Gilberts nicht bestätigten. Die Enden gingen stets auseinander.

5) III,2, p. 120.

so zusammen gehalten werden, aber nicht als fest vereinigte Teile des Ganzen („non verae sunt partes unitae totius, sed appendices et adnatae partes, totius naturam imitantes." l. c.). Sie liegen demnach in derselben Richtung in der Erde, die sie an ihrer Oberfläche einnehmen würden! In der Tat behält ein dem Schacht entnommener Magnetstein seine ursprüngliche Richtung bei, wenn man ihn beweglich, z. B. auf einem Kork schwimmend, aufstellt. Anders würden sich die dem Erdinnern entnommenen Teile verhalten, die ohne dazwischen lagernde unmagnetische Körper fest vereinigt den eigentlichen magnetischen Erdstoff bilden. Würde man dort ein Stück A-B herausbrechen und an die Oberfläche bringen, so würde das vorher südliche Ende (A) sich jetzt nach Norden richten. Denn in seiner ursprünglichen Lage trat dort das Fluidum aus, das auch den Südpol der Erde verläßt, für das also der Nordpol derselben die geeignete Eintrittsstelle ist; ihm wendet der Pol A sich also zu. (S. Figur p. 121.) Fließt aber dagegen in den „appendices", den magnetischen Mineralen der Erdrinde, die Kraft in derselben Richtung wie außerhalb, so ist ja die verhältnismäßig geringe äußere Wirkung der Erde erklärt: es ist nur die an der Grenze ihres orbis virtutis, die wir wahrnehmen! Der größere Teil ihrer Kraft kehrt durch die Erdkruste selbst zum andern Pol zurück. Wäre das äußere Erdfeld stärker, so würde es noch leichter die Magnetversuche stören, man könnte nicht ohne erhebliche Fehler einen Magneten in einer Lage benutzen oder aufbewahren, in der sein Wirbel nicht mit dem der Erde zusammenstimmt. Auch so schon gilt es, eine längere Dauer einer solchen „unnatürlichen" Lage zu vermeiden, da sonst der Erdmagnetismus die früher geschilderte Zerstörung und Umkehrung der primaria forma magnetica bewirkt. „Regnat enim ubique intra orbem virtutis suae telluris magnetica effluentia et immutat corpora." (p. 140)[1]) So wußte Gilbert auch bereits, daß Eisenstäbe an Gebäuden, Gittern und dergl.

1) S. S. 12 d. Arb.

magnetisch werden mit der Zeit, und zwar wird das untere Ende auf unsrer Halbkugel ein Südpol. (Nach Gilberts Bezeichnung! S. S. 16 d. Arb.) Auch dadurch, daß man glühendes Eisen in der Nord-Süd-Richtung zu einem Stabe hämmert[1]) und erkalten läßt, wird es „a terrena imperante forma“[2]) magnetisert, wie sich daran erkennen läßt, daß es nachher immer wieder diese Lage einzunehmen sucht.

Ähnliche Betrachtungen wie bei obiger Erklärung der Verteilung der Kraft im Erdfeld kommen zur Geltung bei der Untersuchung des charakteristischen Verhaltens bei Teilung eines Magneten. Schneidet man einen Magneten senkrecht zu seiner Achse durch, so entstehen 2 schwächere Magnete (s. S. 20) derart, daß die noch eben zusammenhängenden Enden entgegengesetzte Pole werden.[3]) „Neque tamen vera haec est contrarietas, sed concordantia summa et corporum magneticorum in rerum natura vera et genuina conformatio,“ denn: „Magnetica quaerunt unitatem formalem.“ (III, 2; p. 122.) So kommt es, daß die beiden Trennungspole sich anziehen und wieder zu vereinigen streben; in jedem Fall sind sie Aus- und Eintrittsstellen für ein- und dasselbe Fluidum, so nahe auch z. B. der neue Nordpol dem ursprünglichen Südpol gelegen haben mag.[4]) Teilt man dagegen einen Magneten parallel seiner Achse,[5]) so tritt — aus demselben Grunde des Übereinstimmens und Gleichbleibens der inneren Geformtheit und damit der Kraftrichtungen — das scheinbar Entgegengesetzte ein: die eben noch benachbarten Teile stoßen sich ab und drehen sich, wenn man sie aus dem Bereich gegenseitiger Einwirkung bringt, dem gleichen Erdpol zu. Da sie für dasselbe Fluidum Austrittsstelle sind, also gleichnamige Pole, so werden sie bei neuer Berührung, indem die Teilmagnete aufeinander wirken, nicht wieder zusammenkommen.

1) III,12, p. 139.
2) II,16, p. 88.
3) III,2, p. 122 Mitte.
4) III,6, p. 130.
5) II,32, p. 102, p. 127, III,4.

Gilbert macht die innere Übereinstimmung, die diesen Vorgängen zugrunde liegt, anschaulich durch ein Bild, das ähnlich bei Gassendi[1]) wiederkehrt: durchschneidet man den Zweig einer Pflanze, so können wohl nachher je ein nach oben und ein nach unten gerichtetes Ende wieder zusammenwachsen; bringt man aber zwei Enden zusammen, die ursprünglich nach derselben Seite gerichtet waren, so stirbt der Zweig ab, denn die Lebenskraft (vis vegetativa) kann nur in einer Richtung strömen! (una via procedit. p. 131)

Von großem Interesse nicht nur für die weitgehende Kenntnis Gilberts von den magnetischen Erscheinungen, sondern auch für seine konsequente Erklärung derselben im Sinn seiner Wirbeltheorie sind die Kapitel, die vom armierten Magneten handeln.[2]) Darum und weil Descartes dabei in genau derselben Weise vorgeht, seien sie noch kurz dargestellt. Die Erfahrung zeigt, daß ein Magnet, vor dessen Pol eine konkave Eisenlamelle oder ein kegelförmiges Stück künstlich befestigt ist, eine größere Gewichtsmenge Eisen tragen kann, als der gleiche, nicht in dieser Weise „armierte“ Magnet. Die größte Tragkraft wird erzielt, wenn zwei armierte, entgegengesetzte Pole sich so genähert werden, daß sie sich anziehen können. Der Grund ist nach Gilbert der, daß durch die Berührung der beiden Eisenteile, nämlich der Armatur und des angezognen Gewichtes, die „cohaerentia“ eine festere ist als bei Berührung von Magnet und Eisen; — daher die Vergrößerung der Tragkraft auch ausbleibt, wenn „interposita charta“ die enge Berührung der beiden gleichartigen Körper verhindert wird. Ganz besonders eng wird aber die Berührung, es entsteht gleichsam ein zusammengeschweißter Körper, infolge der Gegenwart des Magneten, dessen Kraftstrom beide Eisenstücke so aufnehmen, daß sie sich auch gegenseitig weiter erregen und anziehen (s. S. 12 d. A.), umso kräftiger natürlich je stärker der Strom ist, also wenn etwa zwei benachbarte entgegen-

1) Schaller, a. a. O. I, p. 191.
2) II,17—22.

gesetzte Pole ihn durch Zusammenwirken ihrer Kräfte stärken (s. oben). Unter Umständen ist das Zusammenschweißen zweier Eisenstücke in der Wirkungssphäre des Magneten so stark, daß man mit einem Eisenstab einen andern vom Magneten abziehen kann,[1]) da dieser das Eisen nie so fest berühren kann wegen der Verschiedenheit der inneren Form[2]) (s. S. 9).

Vergleicht man nun aber die Magnetisierungswirkung zweier gleich großer Magnete, von denen der eine armiert ist, der andre nicht, so zeigt sich, daß jener keine größere Kraft aussendet.[3]) Denn das magnetisierte Eisen zieht in beiden Fällen mit der gleichen Kraft an und richtet sich mit gleicher Geschwindigkeit nach den Erdpolen. Und weiter[4]): Die eigentliche coitio ist beim nicht armierten Magneten eher stärker und in größerer Entfernung noch wirksam als beim armierten. Das liegt daran, daß das armierende Eisen die Kraftlinien aus ihrer eigentlichen Bahn ablenkt,[5]) — und zwar seiner äußeren Form entsprechend —, denn es geht die magnetische Kraft lieber durch Eisen als Luft (s. S. 14; G. II, 33 p. 10). Beweise für diese Ablenkung gibt Gilbert in einigen Versuchen mit einer runden Eisenlamelle an.[5]) Durch diese hindurch zieht der Pol des Kugelmagneten schwächer an, „quia vigor per extrema lamella divertitur et digreditur a recto processu.“ Das gleiche tritt ein bei einem Stab, der senkrecht zur Axe vor den Pol gelegt wird, seine beiden Enden werden demnach gleichnamige Pole, — so daß sie einen Folgepol bilden, wenn man den Stab zu einem Ring zusammenbiegt![6]) Man muß also, um die schwächende Zerstreuung zu vermeiden, der Armatur eine geeignete Form

1) II,17, p. 89, cf. II,32, p. 104.

2) II,26, p. 97, Zeile 6 ff.

3) II,18, p. 89. Daß dies nicht immer richtig, zeigten gegen Hn. Eichel (Diss. Halle 1903) die Arbeiten von Gans u. Weber (Annal. 16, 1905) und Dr. Gehne (Diss. Halle 1907) über perman. Magnete.

4) II,19, p. 90.

5) II,16, p. 86.

6) cf. p. 86 und p. 129, wo Gilbert diese Erscheinung ausführlich bespricht (III,5).

geben. Dann gelingt es aber auch, einen oder selbst mehrere schwerere Magnete oder Eisenstäbe durch einen schwachen tragen zu lassen,[1]) indem die magnetischen Massen sich gegenseitig verstärken: „mutuo dant manus“ (II, 20), oder: „coeuntia magnetica faciunt unum magneticum“, indem mit der Masse dann die Kraft wächst. Auf die Erde angewandt erklärt dies die Erscheinung,[2]) daß auf unsrer nördlichen Halbkugel ein Nordpol z. B., der in seiner natürlichen Lage sich befindet, ein schwereres Eisenstük tragen kann als ein nach Norden zeigender. Dieser Unterschied wächst mit der Annäherung an den Pol, wo die stärkste magnetische Kraft wirksam ist, während sie am Äquator, der Theorie nach, verschwinden müßte.[3])

Als letzte wichtige Erscheinung, die Gilbert in den Kreis seiner Betrachtung gezogen hat, bleibt noch eine Abweichung zu behandeln von einem der grundlegenden Gesetze. Gilbert hat behauptet, der frei drehbare Magnet stelle sich mit seiner Axe in den geographischen Meridian der Erde ein: „directio in polos“ (III, 1). Und doch wußte auch er schon, daß dies durchaus nicht überall der Fall ist: „Contingit saepissime non in verum polum magnetica ferra respicere, sed in punctum aliquod horizontis meridiano finitimum distrahi.“ Den Bogen zwischen diesem Punkt, auf den die magnetischen Körper ihren Pol richten, und dem Schnitt des Meridians mit dem Horizont nennt Gilbert die „variatio.“ Dieser Bogen ist verschieden mit dem Ort und zwar längs des Meridians sowohl wie auf den verschiedenen Meridianen.[4]) Es läßt sich auch keine Proportionalität und Gesetzmäßigkeit feststellen. Daher ist es auch nach Gilbert nicht möglich, die geographische Länge aus der variatio zu bestimmen, wie schon Columbus versucht haben soll.[5]) Nur

---

1) II,20, vergl. auch II,22: Verstärkung der Tragkraft auch beim Anlegen einer Armatur an den anderen Pol.

2) II,34, p. 107. Beruht auf sehr feiner Beobachtung.

3) II,34, p. 108. Richtig nur für Magnete, deren Axe vertikal steht.

4) p. 151 ff., IV,1.

5) Vergl. A. v. Humboldt, Kosmos IV, p. 39 u. 40.

soviel ist zu erkennen, daß am Äquator die Abweichung sehr schwach, an den Polen stärker ist.[1]) Dazwischen kann sie aber verschwinden. Für jeden Ort ist — nach Gilberts Kenntnis — die Variation konstant.[2]) Die Ursache derselben ist, wie die aller magnetischen Bewegungen, die Erde.[3]) Die eigentliche richtende Kraft derselben ist freilich die in den Meridian einstellende, „ad telluris verticitatem." In der Variation hat man nur eine Störung, eine „perturbatio", derselben zu sehen, die hervorgerufen wird durch Ungleichheiten im orbis virtutis der Erde. Die Erdoberfläche zeigt viele Unebenheiten und ist ihrer Natur und Zusammensetzung nach durchaus ungleichförmig; an einzelnen Stellen ist sie stärker mit magnetischem Bestandteilen durchsetzt, die oft in den Gebirgen sehr hervorragen über eine unmagnetische Nachbarschaft. So kommt es, daß die magnetische Kraft der Erde abgelenkt wird nach diesen stark magnetischen Massen und mit ihr jeder kleinere Magnet, der sich in die Richtung des Erdkraftflusses einstellt. Im Kleinen läßt sich dieser Einfluß wieder demonstrieren am Kugelmagneten,[4]) dessen Oberfläche uneben gemacht wird; oder es läßt sich umgekehrt aus einer Abweichung des Versoriums vom Meridian eine Ungleichheit in der Magnetisierung oder der magnetischen Eigenschaft der terrella schließen. Die Variation überschreitet nicht eine gewisse Grenze,[5]) denn wie das Eisen immer von dem ganzen Erdwirbel gerichtet wird, so stimmt auch die „polaris natura", also die gerichtete und richtende Kraft, der magnetischen Berge damit zusammen.

An den Polen tritt die Kraft der Einstellung in die Meridianrichtung des magnetischen Wirbels zurück,[6]) da dort die Kraft fast senkrecht ein- resp. austritt. Infolgedessen

---

1) p. 153, (IV,1).
2) IV,3, p. 156.
3) p. 151, (IV,1).
4) IV,2, p. 154 f.
5) IV,7, p. 161.
6) IV,10, p. 166.

bringt jede magnetische Ungleichheit viel leichter eine Abweichung vom Meridian hervor als am Äquator, zumal die coitio der Erde auch an den Polen am stärksten ist. — Hier ist eine Stelle, wo der Mangel der strengen Scheidung zwischen Kraft der coitio und directio hervortritt. Besser und konsequenter ist der Gedanke hierbei angewandt von Descartes, Pr. phil. IV, 170. Vergl. S. 41. — Die eigentliche Ursache auch der variatio ist die vis disponens der Erde und die „drehende und drehbare magnetische Natur."[1]) So behauptete schon Robertus Normannus und erfand einen Versuch[2]) zur Veranschaulichung, den Gilbert ebenfalls benutzt, um variatio, declinatio und, daß beide eine Bewegung des Sich-Richtens sind zu zeigen:[3]) In ein großes durchsichtiges Gefäß, das mit Wasser gefüllt ist, bringt man einen runden Kork, der eine kleine Eisennadel trägt, so, daß er im Wasser[4]) schwimmt und die Nadel horizontal im Gleichgewicht ist. Nimmt man sie nun heraus, magnetisiert sie und setzt sie wieder ein, so dreht sie sich jetzt um ihr Zentrum, bis sie schließlich dauernd auf einen bestimmten Punkt der Gefäßwand zeigt, ohne sich indessen auf diesen zu zu bewegen: „Movetur circa centrum suum, non latione aliqua ad vasis limbum" (S. 160). Ihre Richtung ist jetzt die des Erdwirbels am Ort des Versuches, zeigt also die declinatio und variatio an infolge der richtenden, — nicht der anziehenden —, Kraft des Erdmagnetismus.

Hiermit ist die eigentliche Magnettheorie Gilberts abzuschließen und jetzt die des Descartes darzustellen, die, wie sich zeigen wird, in ihrem Grundgedanken wie in der Anwendung auf die Einzelerscheinungen die größte Ähnlichkeit mit der Gilbertschen zeigt. Sie findet sich in den Principia philosophiae im 4. Teil, in den §§ 133—183, eingeflochten in die Behandlung der Physik der irdischen Vorgänge überhaupt.

---

1) IV,6, p. 159.
2) IV,6, p. 159 f.
3) IV,6, p. 160 u. p. 195, V,9.
4) Nicht auf dem Wasser.

Ib. Die Magnettheorie des Descartes.

Indem Descartes zurückweist auf früher, in §§ 87 ff. und 105—109 des 3. Teiles der Principia im Wesentlichen dargestellte Dinge, schildert er noch einmal kurz eine gewisse Wirbelbewegung [1]) besonders geformter Teilchen, die durch und um die Planeten, speziell die Erde, geht, und erklärt, diese Wirbel seien die Ursache der magnetischen Erscheinungen! Das ist derselbe Gedanke wie bei Gilbert: Der Magnetismus beruht auf einer der Erde wesentlichen Eigenschaft, derjenigen nämlich, ein gewisses Fluidum durchzulassen, von dem sie dann außen in ganz bestimmter Weise umflossen wird. Zum Durchlassen dieses Fluidums ist eine bestimmt Form [2]) Voraussetzung: es müssen sich Gänge finden in der Erde, die der Gestalt der betreffenden, bei Descartes körperlich gedachten Teilchen entsprechen, deren Bewegung den Magnetismus ausmacht. Diese Vorstellung erinnert an die Magnettheorie der Atomisten,[3]) die Gilbert ablehnt Aber auch Descartes' magnetische Korpuskeln unterscheiden sich in ihrer Wirkungsweise von dem materiellen Ausfluß Democrits, nämlich durch den von Gilbert stammenden Gedanken einer bestimmt gerichteten Wirbelbewegung anstelle eines beliebigen Ausfließens (s. S. 16). Damit hängt aufs engste die Forderung einer bestimmten Geformtheit der magnetischen Körper zusammen, die diese Wirbel aussenden. Der Bestandteil der Erde, der diese Form besitzt, ist wie bei Gilbert der Magnetstein und das Eisen. „Es entspricht der Vernunft, daß dieser Körper das Eisen ist." [4]) Um dies zu verstehen, muß erst die eigentümliche Form der particulae charakterisiert werden. Man hat sich unter ihnen sehr kleine, sinnlich unwahrnehmbare Teilchen zu denken, die an ihrer Oberfläche eine dreifache Kannelierung zeigen, etwa in der Art von Schraubengängen. (Daher particulae striatae!)

1) Näheres in IIb d. Arb.
2) Näheres in IIIb d. Arb.
3) Vergl. Gilbert II,3, p. 63 Mitte.
4) Kirchmann, Descartes p. 238, IV, § 135.

Diese ist entstanden bei der raschen Bewegung durch die engen Zwischenräume, die die gröberen Teilchen des sog. zweiten Elementes lassen. (Die Elemente sind nach wachsender Größe und abnehmender Geschwindigkeit ihrer Teilchen geordnet!) Da diese Kugelgestalt haben, sind die kleinstmöglichen Zwischenräume zwischen ihnen von dreieckigem Querschnitt und begrenzt von drei konvexen Flächen.[1]) Diese rufen die oben geschilderte Gestalt der „gerieften Teilchen“ (n. Kirchmann) hervor, da zu deren Vorwärtsbewegung in grader Linie noch eine Rotation um die eigne Achse hinzukommt. Die geeignetsten Wege für die magnetischen Teilchen werden demnach etwa wie Schraubenmuttern aussehen müssen, d. h. an den inneren Wandungen der Gänge müssen vorspringende Kanten etwa spiralig angeordnet sein (s. S. 32). Das Eisen ist nun ein Körper,[2]) dessen physikalisches Verhalten wohl darauf hinweist, daß die Teilchen 3. Elementes, aus denen es, wie alle festen Körper, besteht, eckig und zweigartig sind und so fest aneinander haften, ohne daß ein sehr dichter Körper entsteht, und es also derartige Gänge leicht enthalten kann. Doch sind im Eisen diese Gänge nicht in der vollkommensten Form vorhanden,[3]) sondern z. T. verwirrt und ungeordnet, — eine Folge der Entstehungsweise der Eisenerzminen. Anders ist es mit dem verwandten Magnetstein,[4]) der die Gänge fest bewahrt hat, da er zwischen Steinen und andern Körpern eingezwängt und mit ihnen vermischt („multa materia lapidea gravatur“, Pr. phil. IV, § 171) seine Lage seit Jahrhunderten nicht geändert hat. Damit ist dieselbe Beziehung zwischen Eisen und Magnet gegeben wie bei Gilbert; auch die Erklärung, weshalb der Stahl, „optimum ferrum“, (Gilb. II, 4; p. 73 u. a.) sich magnetisch vom Eisen unterscheidet,[5]) nämlich

1) S. Figur 20b Kirchmann, dazu III, § 87.
2) § 136 des IV. Teiles der Pr. phil.
3) § 138 des IV. Teiles der Pr. phil.
4) § 139 des IV. Teiles der Pr. phil.
5) Pr. phil. IV, § 144.

infolge seiner Entstehung, ist in der Hauptsache schon gegeben bei Gilbert, — ohne daß hier jedoch näher darauf eingegangen zu werden brauchte. Sie ist nicht so prinzipiell wichtig wie die Unterscheidung der forma confusa und non confusa des Eisens, resp. des Magnetsteins. Die übrigen Körper in der Erde und die Luft lassen wohl auch die Magnetteilchen durch, aber schwieriger und ohne daß sich regelmäßige Gänge bilden, da ihnen die geeignete Anlage zu dieser inneren Formung fehlt.[1]) Wenn freilich ihre Bewegung, — auch sie befinden sich in Rotation nach Descartes! — der der gerieften Teilchen grade entgegengesetzt ist, dann zwingen sie diese zur Umkehr.[2]) Das ist der Fall an den Polen der Erde.[3]) Die Teilchen sind dort in spiraliger Bewegung eingetreten (s. v. S.) und parallel der Axe durch die Magnetstein- und Eisengänge des Erdinnern hindurchgegangen. Am andern Pol austretend treffen sie auf entgegengesetzt und senkrecht zu ihnen sich bewegende Teilchen des 2. Elementes oder auch aus andern Wirbeln neu zuströmende geriefte Teilchen,[4]) die sie zwingen, umzubiegen und kreisförmig zum ersten Pol zurückzukehren. Dort können sie wieder eintreten und ihren Kreislauf von neuem beginnen. Aus dieser Darstellung ist schon ersichtlich, daß zwei Wirbelrichtungen existieren, deren jede einen bestimmten Pol als Eintrittsstelle hat. Die Teilchen der beiden verhalten sich etwa wie Links- und Rechtsschraube zu einander,[5]) es ist unmöglich, daß die eine Art in die Gänge der andern eintritt. Ebenso aber kann keine in den für sie passenden Wegen zurückkehren, da die Wände der Gänge solche vorstehenden Zweiglein enthalten, die einmal zurückgebogen um die Teilchen

---

1) Gilbert III,13, p. 141 unten.

2) Pr. phil. IV, § 133.

3) Und der anderen Gestirne, wie der kleinen Magneten. Pr. phil. III, § 108, Pr. phil. IV, § 152.

4) Näheres in IIb d. Arb.

5) Pr. phil. III,91 u. a., auch Kirchmann (Anm.) p. 244 unten.

durchzulassen, einer Rückwärtsbewegung wie Sperrzähne entgegenwirken.[1])

Das Eisen enthält die Gänge, wie schon erwähnt, noch nicht festgefügt, sondern nur in der Gestalt der Teilchen 3. Elementes, aus denen es sich zusammensetzt, die Möglichkeit ihrer Entstehung (s. S. 30). Unter der Einwirkung eines Magneten, dessen wirbelnde Teilchen also noch von jeder Seite in das Eisen eintreten können, bilden sich die festen Gänge.[2]) Die Teilchen bahnen sich den Weg, indem sie die vorspringenden Ecken und Zweige im Innern so biegen, daß passende Schraubengänge mit Sperrzähnen entstehen. Beim Stahl geht dies langsamer als beim Eisen, da er fester gefügt ist und die irgend wie schon gebogenen Zweigenden nicht rasch unter dem Einfluß hindurchströmender anders gerichteter Teilchen zurückgebogen werden. Das Eisen hat dagegen die Eigenschaft großer Biegsamkeit seiner Teilchen, sodaß sukzessives Hindurchströmen von entgegengesetzt gerichteten particulae striatae jedesmal ein Richten und Biegen im Eisen zur Folge hat. Mit anderen Worten: Das Ende eines Eisenstabes läßt sich durch Beeinflussung von einem Südpol zu einem Nordpol machen, einerlei ob es vorher garnicht oder schon entgegengesetzt magnetisiert war. Die Magnetisierung geht so schnell vor sich — infolge der Geschwindigkeit des Fluidums — und wird um so beständiger, je länger die Einwirkung dauert und je härter das Eisen ist.[3]) Der Magnetstein zeigt dauernden Magnetismus,[4]) also sind in der Tat seine Gänge am festesten gefügt, doch auch sie können zerstört werden durch „starkes Feuer“[5]) oder dadurch, daß lange Zeit die Teilchen eines stärkeren Magneten

---

1) Pr. phil. III, § 106 Schluß und IV, § 146.

2) Pr. phil. IV, § 158.

3) Pr. phil. IV, § 162.

4) Daher sein Name die Eigenschaft bezeichnet, cf. Gilbert: „virtus magnetica“.

5) Pr. phil. IV, § 183.

schief oder verkehrt auftreffen,[1]) infolge falscher Lage der Magnete zueinander, und so allmählich die Gestalt der Gänge ändern. Treffen die Teilchen auf „unmagnetische“ Körper, so ändern sie dort nichts, werden auch nicht wesentlich am Durchgang gehemmt (s. S. 31), da alle Körper unregelmäßig geformte Gänge haben, die weit genug sind, selbst Teilchen 2. Elementes durchzulassen.

Allerdings gehen die gerieften Teilchen besonders leicht und schnell durch magnetische Körper,[2]) und daraus erklärt sich (vergl. Gilbert! II, 33, p. 106) die Anziehung[3]) zweier entgegengesetzter Magnetpole, resp. eines Magnetpoles und eines Eisenstückes, das in die „Sphäre der Wirksamkeit“, den von magnetischen Teilchen durchströmten Raum um den Magneten, gebracht ist und dort in oben beschriebener Weise magnetisiert. Das dem Pol benachbarte Ende wird natürlich als Eintrittsstelle des aus dem Magnetpol kommenden Fluidums ein entgegengesetzter Pol.[4]) Beim Austritt aus dem Magneten haben die gerieften Teilchen das Bestreben, gradeaus mit der erlangten Geschwindigkeit weiter zu gehen. Sie stoßen auf die Luft und werden durch deren Widerstand zurückgebogen, wenn nicht der Luft die Möglichkeit des Ausweichens gegeben ist. Dies ist der Fall, wenn zwei Wirkungssphären zusammenfallen. Dann streben diese zu völliger Vereinigung der Magnete, da ihnen dann der günstigste Weg geboten; und diese machen infolge ihrer Bewegung zu einander der Luft freien Platz zum Ausbiegen.[5]) Also auch hier ist die Anziehung nichts anderes als ein Zusammenwirken beider Magnete, beruhend auf dem Bestreben des Formverwandten sich zu vereinen.[6]) Die Art dieses Zusammenwirkens auf

---

1) Pr. phil. IV, § 182.

2) Vergl. die Bemerk. auf S. 31 und unten Bemerk. 6.

3) Pr. phil. IV,153.

4) Pr. phil. IV,159.

5) Eine Reaktionswirkung also!

6) cf. Pr. phil. IV,148, wo dieser Gedanke zugrunde liegt, ohne scholastische Färbung allerdings. S. S. 14 d. Arb.

Grund zweier entgegengesetzt gerichteter Wirbelströmungen ist hier nur näher als bei Gilbert erklärt.[1]) Jedenfalls, betont auch Descartes, ist die Anziehung auch nicht eine besondere „Kraft der Pole", obgleich sie in deren Nähe am stärksten beobachtet wird. Es sind nur die Pole die Stellen, wo die meisten Öffnungen der Gänge sich befinden und die Teilchen austreten, die den längsten und gradesten Weg im Magneten zurückgelegt haben. Durch Teilung werden diese Stellen verschoben und damit auch die wirksamsten Punkte. Die eigentliche magnetische Fähigkeit ist aber im ganzen Magneten die gleiche, bedingt durch die gute oder schlechtere Ausprägung der Gänge (der „primaria forma" nach Gilbert!) und durch die Größe[2]) des magnetischen Körpers, der entsprechend mehr oder weniger Teilchen in einem Augenblick aufgenommen und ausgesandt werden können. Auch die Gestalt des ganzen Magneten wird, obgleich Descartes das nicht ausdrücklich erwähnt, in demselben Sinn Einfluß haben auf die Stärke der Wirkung, wie Gilbert dies folgert (s. S. 15). „Die Kraft ist abhängig von der Länge des im Magneten zurückgelegten Weges", sagt Descartes; also wird ein langer Magnet stärkere Anziehung bewirken, resp. eine stärkere Magnetisierung des Eisens hervorrufen als ein kugelförmiger.

Auch die Art der Magnetisierung eines Eisenstabes[3]) ist verschieden, je nachdem man ihn vor den Pol oder über den Äquator des Magneten bringt, und zwar infolge der verschiedenen Richtung der dort strömenden Teilchen. Bringt man das Ende A des Stabes vor den Nordpol, so wird es ein Südpol (s. S. 33) und umgekehrt. Liegt das Eisen wie eben parallel zur Axe am Äquator an, so wird ebenfalls das nach dem Nordpol weisende Ende ein Südpol, weil dort zuerst die am Nordpol ausgetretenen und in der Luft umgebogenen Teilchen eintreten und den günstigsten Weg für ihre Bewegung zum Südpol finden, mit deren Richtung grade die

1) Näheres s. III b.
2) S. S. 20. Pr. phil. IV, § 164.
3) Pr. phil. IV, § 154. S. auch Figur 44.

Längsrichtung des Eisens zusammenfällt. Ersetzt man das Eisen in diesen beiden Versuchen durch einen schon magnetischen Körper und läßt diesen nicht genau parallel der Axe des ursprünglichen, größeren Magneten liegen, so wird die Kraft der gerichteten Strömung [1]) ihn in diese Richtung zu drehen versuchen und zwar so, daß der Nordpol des einen nach dem Südpol des andern zeigt; denn nur so können die gerieften Teilchen des einen in die Gänge des anderen eintreten.[2]) — Nach der genauen Beschreibung der particulae ist dies unmittelbar anschaulich, während bei Gilbert die Behauptung, es seien zwei verschieden gerichtete Strömungen vorhanden, die sich nicht beeinflussen, ohne weitere Veranschaulichung angenommen wird und eine brauchbare Erklärung abgibt vor allem für die directio in polos. Doch nicht nur in den Meridian der Erde stellt sich ein beweglicher Magnet ein, sondern zu jedem Kugelmagneten verhält er sich ebenso.[3]) Durch einen solchen geht die magnetische Strömung ja in der ganz gleichen Weise wie durch die Erde; bei anders gestalteten magnetischen Körpern auch, bis auf die äußere Form des Wirbels, die sich der des Körpers anpaßt.[4]) Bewirkt wird sie — nach Decartes — durch den Luftwiderstand, der die Teilchen zurückdrängt, Gilbert verzichtet auf eine solche mechanische Erklärung.

In demselben Sinn geht Decartes über seinen Vorgänger heraus bei der Begründung der Abstoßung [5]) zweier Magnete, deren gleichnamige Pole einander genähert werden. Doch ist der Grundgedanke auch hier der gleiche: Die Verschiedenheit der zwei sich begegnenden Strömungen jedes Wirbels! Descartes führt ihn aus: Können die zunächst gradlinig aus einem Pol austretenden Teilchen nicht in den noch davor befindlichen Pol eines zweiten Magneten eintreten, weil es

1) Pr. phil. IV, § 150.
2) Vergl. S. 31 d. Arb.
3) Pr. phil. IV, § 167.
4) S. Gilbert II,7 und vergl. S. 10 d. Arb.
5) Pr. phil. IV,154.

ein „gleichnamiger“ ist, so müssen sie umbiegen zum andern Pol ihres eignen Magneten. — Das Gleiche gilt für den Kraftstrom des zweiten. — Dabei brauchen sie Platz, um sich aneinander vorbeizubewegen, und schaffen ihn sich durch Fortstoßen oder Drehen des beweglichen Magneten.

Um die Richtung der Kraft oder ihren Weg im Einzelnen festzustellen, hatte schon Gilbert außer der Beobachtung mit dem Versorium den anschaulichen Eisenfeilspäne-Versuch benutzt,[1]) der noch heute dazu dient. Descartes bringt ihn auch und fügt noch einige erweiternde Bemerkungen hinzu.[2]) Es wird ein Kugelmagnet so in das runde Loch eines Blattes Papier gebracht, daß dieses gerade in eine seiner Meridianebenen fällt. Streut man Eisenfeilspäne auf das Blatt, so ordnen sich diese kreisförmig um den Magneten an, indem sie die „Biegungen[3]) der gerieften Teilchen“, (n. Kirchmann, l. c. p. 263) den Kraftweg darstellen. Durch die magnetische Kraft sind die Eisenspäne selber magnetisch geworden, in den Meridian eingestellt[4]) und haften fest zusammen. So bilden sie gewissermaßen Röhrchen (Descartes l. c.), durch die die Kraft fließt. Bringt man einen zweiten Magneten so in die Nähe, daß Anziehung der benachbarten Pole stattfindet, so sind die Röhrchen gerade zwischen den beiden Polen,[5]) die Kraft strömt durch beide Magnete wie durch einen! Von den weiteren Bemerkungen und Erweiterungen zu diesen Versuch kann abgesehen werden. Das theoretische Interesse desselben ist aus dem Dargestellten ersichtlich, es liegt in dem erkennbaren Zusammenwirken der anziehenden und richtenden Kraft des Magneten.

Zur Kenntnis der letzteren gehört natürlich auch bei Descartes, daß sie eine Neigung des Magneten unter den

---

1) Gilbert II,23.
2) Pr. phil. IV, § 179.
3) Lateinisch „flexus“, wohl besser zu übersetzen: „krumme Wege“.
4) Gilbert II,23.
5) Kirchmann, Descartes, Fig. 40.

Horizont bewirkt,[1]) die vom Äquator zu den Polen hin anwächst. Das ist selbstverständlich auch nach seiner Theorie, und die Begründung ist ebenfalls dieselbe wie bei Gilbert.[2]) Doch wieder wird sie anschaulicher durch die streng mechanische Erklärung der Einstellung in die Richtung der Kraft:[3]) Die in der Nähe des Poles gerade austretenden gerieften Teilchen drücken den ungleichnamigen Pol eines andern Magneten, in den sie eintreten möchten, so herunter, daß dies möglich ist. Daran werden sie auch nicht verhindert durch die vom entfernteren Pol des eigenen Magneten kommenden Teilchen, die so ebenso bequem in den oberen Pol des zweiten Magneten eintreten können. Im engen Zusammenhang mit dieser Deklinationswirkung, — um Gilberts Bezeichnung beizubehalten, — steht die Tatsache, daß ein Eisenstab, der eine ihr möglichst entsprechende Lage zum Horizont hat, durch den Erdmagnetismus Pole erhält an seinen Enden,[4]) und zwar auf unsrer nördlichen Halbkugel am untern Ende einen Südpol.[5])

Diese Magnetisierungswirkung der Erde ist allerdings nur schwach im Verhältnis zur Größe des Erdmagneten; — sie kann z. B. auch durch Umkehrung der Lage sehr rasch umgekehrt werden, — ein Mißverhältnis, das Descartes, wie schon erwähnt, in derselben eigenartigen Weise erklärt, wie Gilbert:[5]) Ein großer Teil der an den Erdpolen austretenden Kraft kehrt durch die obere Erdregion zum andern Pol zurück, denn sie findet dort in den metallischen Teilen, den Eisen- und Magnetsteinminen vor allem, passendere Gänge als in der Luft. Diese zeigen infolgedessen die entgegengesetzten Schraubenwindungen wie die Gänge im Innern der Erde, und die ihnen entnommenen Magnete nehmen außerhalb der Erde

---

1) Kirchmann, Descartes, p. 249 (IV,151).

2) S. S. 18 d. Arb.

3) Kirchmann, Descartes, Fig. 39.

4) Pr. phil. IV,165.

5) S. S. 20 und vergl. S. 16 über Gilberts und Descartes' Bezeichnung der Pole (Pr. phil. IV, § 149).

dieselbe Richtung ein, die sie vorher im Schacht hatten. Für den experimentellen Nachweis beruft sich Descartes hier ausdrücklich auf Gilbert,[1]) den er zitiert als den „genauesten Erforscher der magnetischen Kraft und Entdecker der in der Erde befindlichen magnetischen Kraft." Und das ist m. E. außerordentlich charakteristisch! Einmal führt Descartes hier von dem mancherlei Neuen, das Gilbert entdeckt hat, nur den Erdmagnetismus an. Und der war ihm zweifellos auch die wichtigste Tatsache, da er die Beziehung von Einzelerscheinungen auf der Erde mit dem ganzen Erdball herstellte und weiter noch, — wie Teil II zeigen wird, — die zwischen Erde und Sonne darzubieten schien. Vor allem aber erhob sich dieser Gedanke Gilberts weit über die phantastischen Hypothesen seiner Vorgänger, die, auch im Streben nach Herstellung einheitlicher Beziehungen, zu geheimnisvollem „Sympathie"-Einfluß der Gestirne ihre Zuflucht nahmen.[2]) Hier aber bot sich dem methodischen, an die konkrete mechanisch-erfaßbare Wirklichkeit sich haltenden Forscher eine einfache sachliche Theorie, die ihm wohl die Grundlage zu einem umfassenderen wissenschaftlichen Bau werden konnte. Dann ist aber auch dieser erste Hinweis auf seinen Gewährsmann darum von besonderem Interesse, weil die beiden Forscher mit ihrer eigentümlichen Annahme ganz allein stehen, diese sich aber zwanglos und ungekünstelt in das ihnen gemeinsame System einfügt.

Eine kurze Betrachtung der übrigen magnetischen Erscheinungen — nach der in Ia gegebenen Reihenfolge — wird das Bild von der Übereinstimmung der beiden Forscher ergänzen.

Das Verhalten eines Magneten, der parallel zur Axe durchgeschnitten ist,[3]) wird ebenso beobachtet und erklärt wie bei Gilbert:[4]) Während ursprünglich ein Teil des Süd-

1) Kirchmann, Descartes, p. 256 f.
2) Vergl. Gilbert I,1 u. a.
3) Pr. phil. IV,155. S. Fig. 42.
4) S. S. 23, Gilbert III,2.

endes mit einem andern Teil desselben verbunden war, müssen nach dem Durchtrennen die am Südpol austretenden Magnetteilchen in einen Nordpol eintreten, deshalb drehen sich die beiden Teile so, daß dies möglich wird, die Hälften des ursprünglich einen Südpols sind um die Länge der Axe voneinander entfernt. – Ebenso ist's mit der Teilung senkrecht zur Axe:[1]) Die Teile, die sich früher berührten, sind entgegengesetzte Pole, — ziehen sich also auch wieder an, — sonst hätten sie garnicht fest zusammenhaften können, weil das die natürliche Fortbewegung der Teilchen im Innern gehemmt hätte.

Die Steigerung der Tragkraft eines Magneten, die durch eine Eisenarmatur der Pole[2]) bewirkt wird, ohne daß damit die eigentliche Kraft der coitio vergrößert würde (s. S. 25), entspringt auch nach Descartes aus dem Unterschied der Berührung: „Die Gänge des Eisenblechs passen nämlich am besten mit den Gängen des ihnen angehängten Eisens." Deshalb wird die Luft zwischen beiden so völlig verdrängt, daß die unmittelbarste Berührung und damit das festeste Zusammenhalten[3]) erreicht wird. Dagegen erklärt die Tatsache, daß ein längliches oder flaches Eisen die magnetische Kraft in der Längsrichtung aufnimmt,[4]) (— gingen sie erst quer hindurch, ihrer ersten Richtung folgend, so würden sie doch, statt in die Luft hinauszutreten, in die geeigneteren Durchgänge des Eisens zurückgebogen! —) daß die Fernwirkung durch ungünstige Formänderung des armierten Magneten und damit des orbis virtutis sogar eingeschränkt werden kann.[5]) Dadurch, daß die Eisenbleche vor beiden Polen eines Magneten verbunden werden,[6]) unterstützen sich diese im Tragen von Eisen, obgleich eigentlich ihre Wirkungen entgegengesetzt

1) Pr. phil. IV, § 156.
2) Pr. phil. IV, § 172.
3) Vergl. Teil III.
4) Pr. phil. IV,160 und Gilbert, p. 86.
5) Pr. phil. IV,180 und Gilbert, p. 86.
6) Pr. phil. IV,173 und Figur 45.

sind. Doch hier wirken sie zusammen zur Erzeugung von Polen im Verbindungsstück, wie aus der doppelten Wirbelbewegung folgt. Da aber die Kraft eines magnetischen Körpers zunimmt,[1]) wenn das Fluidum rascher und in größerer Menge hindurchströmt, so wird sie in diesem Fall auch wachsen. Deshalb bewirkt, allgemein, ein längliches Eisenstück vor einem Magnetpol eine stärkere Wirkung des Ganzen, weil es die gerieften Teilchen gewissermaßen sammelt und sie leichter und rascher strömen läßt. In derselben Weise verstärkt ein mit dem richtigen Pol genäherter Magnet die Anziehung eines andern auf einen Eisenstab.[2]) Doch kann diese Wirkung sich auch umkehren. Nähert man nämlich den zweiten Magneten dem Eisen bis zur Berührung,[3]) so kann er es von dem ersten abziehen, auch wenn dieser stärker ist. Der Grund liegt dann, wie auch Gilbert meinte,[4]) in der besseren Berührung. Als bekanntes Beispiel für die gegenseitige Unterstützung der Magnete durch Zusammenwirken ihrer Wirbel führt Descartes auch an, daß ein Südpol auf der nördlichen Halbkugel vom Erdmagnetismus verstärkt wird.[5])

Zuletzt ist noch die Ansicht des Descartes von der Deklination anzuführen, — so nennt er bereits Gilberts variatio,[6]) ebenso wie er inclinare sagt für Gilberts declinare sub horizontem![7]) — Als Erklärung zitiert er nur die Gilbertsche: Magnetische Ungleichheiten der Erdoberfläche veranlassen ein Abweichen der Kraftströmung aus der Meridianrichtung. Die Magnetnadel richtet sich aber nach der Kraft, zeigt also die Unregelmäßigkeiten an (S. S. 27). Während aber Gilbert noch die Konstanz der variatio für jeden Ort behauptet, hat sein Nachfolger schon von zeitlicher Änderung[8]) derselben

1) Pr. phil. IV, §§ 175 und 164.
2) Pr. phil. IV,161.
3) Pr. phil. IV,176f.
4) Gilbert, l. c., p. 97.
5) Pr. phil. IV,178, s. S. 26 d. Arb.
6) Pr. phil. IV,168.
7) Pr. phil. IV,151 und 165.
8) Pr. phil. IV,169.

gehört. Zu ihrer Erklärung scheint ihm aber umsomehr der Eisentransport von einem Ort zum andern und vielleicht die Änderungen in den Eisenbergwerken zu genügen, als die so in ihrer Lage veränderten magnetischen Massen zwar klein sind im Verhältnis zur Erde, aber sehr groß im Verhältnis zur prüfenden Magnetnadel.[1]) — An Gilberts Begründung für das Zunehmen der variatio nahe den Polen (s. S. 28) wird man erinnert, wenn man liest, wie Descartes zu erklären versucht, daß ein mit seiner Axe zum Horizont senkrecht stehender Magnet die variatio garnicht oder nur schwach anzeigt: Es ist die Deklination eine Wirkung der in etwa konstantem Abstand vom Zentrum strömenden Kraft, ein in der eben beschriebenen Weise gestellter Magnet läßt aber in der Hauptsache die an seinem Ort gradlinig austretenden Kraftlinien hindurchgehn und richtet sich nach ihnen.[2])

Rückblickend läßt sich sagen: Das Prinzip Gilberts, die magnetischen Bewegungen durch ein in bestimmter Richtung dauernd strömendes Agens zu erklären, das eine Wirbelbewegung ausführt, und daher in den Magneten formale, diesem Agens entsprechende Eigenschaften vorauszusetzen, hat Descartes zu dem seinen gemacht. Die vorhandenen Unterschiede in der näheren Durchführung desselben ergeben sich aus der Stellung zu den mechanischen Grundvorstellungen, wie der dritte Teil der vorliegenden Arbeit zeigen soll.

IIa. Kosmische Physik bei Gilbert.

Dem jetzt folgenden zweiten Teil ist vorauszuschicken, daß man bei Gilbert von einer eigentlichen[3]) Kosmologie nicht sprechen kann. Er hat sich freilich auch damit im Zusammenhang beschäftigt und auseinandergesetzt in seinem Werk: De mundo nostro sublunari philosophia nova. Amst. 1651. Doch dieses kann hier nicht berücksichtigt werden,

1) Pr. phil. IV,168.
2) Pr. phil. IV,170.
3) d. h. systematisch abgeschlossenen!

da es erst 7 Jahre nach dem ersten Erscheinen der Principia posthum herausgegeben wurde.[1])

Die Idee aber, die von der größten Bedeutung ist, nicht nur im Rahmen seines Weltbildes, sondern, wie sich zeigen wird, den größten Einfluß hatte auf die berühmte Kosmogonie des Descartes, findet sich im Tractatus de magnete, im engsten Zusammenhang mit seiner allgemeinen magnetischen Theorie.

Die Erkenntnis, daß die Erde ein Magnet sei, schloß für Gilbert sofort den Gedanken in sich, daß sie nicht nur kleinere Magnete beeinflusse, sondern selbst auch der Kraft eines größeren Magneten gehorchen müsse, in dessen Wirkungssphäre sie sich befindet. So sagt er z. B.:[2]) „. . . terrestris dignitas formae primariae, qua tellus ipsa suis sedibus manet et dirigitur," (p. 46) oder ausführlicher: „Nam quemadmodum magnes cum super aquam in vasa conveniente vehitur, aut in aere tenuioribus filis pendet verticitate insita polos suos ad communis matris polos conformat juxta leges magneticas: Ita terra, si a naturali respectu et vera sua in mundo positura declinaret, aut eius poli in orientem Solem aut . . . distraherentur, cursus ad Septentriones et Austrum motu magnetico recurrerent, iisdem punctis, quibus nunc perstant, insisterent." [3]) Die Rotation der Erde um ihre Axe wie die um die Sonne,[4]) die Gilbert als kühner Anhänger des Kopernikus behauptet, überhaupt die Bewegung der Gestirne hat magnetische Ursachen, ebenso die feste Richtung der Erdaxe,[5]) ihr Abweichen von der Axe der Ekliptik,[6]) die Veränderung der Äquinoktien[7]) und so fort. Über Kopernikus hinaus tut

1) Näheres darüber bei Laßwitz, a. a. O. I, p. 316 ff.

2) Gilbert I,17.

3) III,1, p. 118 (Gilbert l. c.!).

4) VI,3 u. 4, p. 213 z. B., vergl. auch II,13, p. 83.

5) VI,2, p. 206, vergl. auch II,3, p. 67, Zeile 5 ff. v. unt.

6) VI,7.

7) VI,8. In VI,9, p. 229 ist von einem ungleichmäßigen Vorrücken die Rede, das Gilbert nicht erklären kann (p. 232) u. das wohl auf falschen Beobachtungen beruht.

Gilbert weiter einen bedeutsamen Schritt zur Überwindung des Aristotelischen Weltbildes: Er bestreitet, daß die Fixsterne an einer festen Sphäre angeheftet rotieren, sie sind leuchtende Kugeln, wie alle Gestirne von ihren effluvia umgeben,[1]) (das effluvium der Erde ist die Luft, II, 2, p. 53 ob.) und erfüllen, vielleicht vom leeren Raum untereinander getrennt, das unendliche Weltall. So hebt er die scharfe Trennung auf zwischen der sublunaren und der Gestirnwelt, die dem ganzen Mittelalter den Weg fruchtbarer Forschung abgeschnitten hatte. Und damit ist er der erste, nicht erst Kepler,[2]) bei dem man von einer kosmischen Physik reden kann! Schon vorher hatte übrigens Giordano Bruno, einen Gedanken seines Vorgängers Nikolaus Cusanus ausspinnend, auf rein spekulative Basis dieselben Behauptungen gegründet, die hier von Gilbert ins Licht physikalischer Betrachtung gerückt werden. Es ist garnicht unmöglich, daß — neben der Tat des Kopernikus — die Lehren des nach London geflüchteten Bruno ihm weitere Anregung gaben zu dem Gedanken, den seine Erforschung und sein Verständnis des Magnetismus nahe gelegt hatten! Nachdem Gilbert mit Argumenten, wie sie sich bei Bruno, Kepler[3]) und überhaupt allen Anhängern der Kopernikanischen Lehre finden, diese zu verteidigen gesucht hat,[4]) erklärt er, es sei der Erde eine primaria forma und insita vis gegeben zur Ausführung ihrer regelmäßigen Bewegung, da diese nötig sei,[5]) zur Erhaltung der irdischen Dinge. „Movetur tellus prima sua forma et naturali desiderio ad suarum partium conservationem . . .“ (p. 216). Und weiter, wir kennen diese der

---

1) VI,1 u. 3, p. 207 ff. Siehe dazu Copern., De revol. orb. coel. I,10, Ausgabe v. 1873, p. 28 und 29.

2) Wie Reuschle behauptet a. a. O., p. 178 und L. Günther in der „Mechanik des Weltalls“, p. 61. Über Gilberts Einwirkung auf Kepler in dieser Beziehung vergl. Goldbeck a. a. O., p. 12 f., auch p. 31 f.

3) z. B. Introductio zur Astr. Nova.

4) z. B. l. c. VI,3 und 5.

5) VI,4, p. 214, Z. 13. Über Gilberts Teleologie vergl. Teil III.

Erde innewohnende Kraft: es ist die magnetische![1]) Wenn wir sahen, daß die geographisch-astronomischen Bestimmungen der Meridiane, Breitenkreite und der Pole, die aus der scheinbaren Bewegung des Himmelsgewölbes abgeleitet waren, nicht nur mathematische Fiktionen sind, sondern daß ihnen Reales entspricht, nämlich die verschiedenen Richtungsgebiete des magnetischen Fluidums, so erscheint es unbedingt einleuchtend, einen Zusammenhang zwischen diesem und der Rotationsbewegung anzunehmen: „Terra ut convertat sese diurna revolutione polis suis innititur!“ (p. 214). So ist die bestimmte Wirbelkraft der Pole nicht nur gegeben, um auf der Erde die feste Richtung der magnetischen Kraft zu bewirken, sondern auch um im Weltall der Erdaxe eine bestimmte Richtung und Bahn anzuweisen. Die erstere denkt Gilbert sich hervorgerufen nach Art der Richtung oder Einstellung der Magnetnadel in den Erdmeridian. Beides führt er als eine magnetische Bewegung an: „Directio in polos telluris et telluris in mundi destinatos terminos verticitas et consistentia“ (II, 1; p. 47). Kreisförmig von der Sonne ausfließende Kräfte sind es,[1]) die diese Richtung der Erde bewirken, die sich demnach zur Sonne genau so verhält, wie ein kleiner Magnet zur Erde. Ein kleiner Unterschied besteht freilich doch: die Erdaxe müßte eigentlich immer auf einen Punkt des Himmels gerichtet sein, sie beschreibt aber statt dessen einen kleinen Kreis dort,[2]) weil ihr eine bestimmte feste Neigung zur Ebene ihrer Bahn gegeben ist. Wenn so Gilbert die Verschiebung der Äquinoktien, die Verschiedenheit des Sonnen- und Sternjahres richtig geometrisch begründet, so hat er doch keine plausible Erklärung nach physikalischen Ursachen, sondern führt diese Abweichung von der eigentlichen magnetischen Eigenschaft zurück auf das Eingreifen einer „anima“.[3]) Die Bewegung der Erde, — und so aller Planeten —, um die feste magnetische Axe

1) p. 214, Z. 14 ff., cf. auch p. 216 (VI,4) u. p. 224 (VI,6).
2) Vergl. Figur p. 228.
3) Über die anima vergl. Teil III.

und den großen Magneten, die Sonne, wird nach Gilbert verursacht von gewissen „virtutes solares“ (p. 216), die den magnetischen sehr verwandt sind: „. . . tellus petit et repetit Solem admirabili sua magnetica virtute,“ heißt es gelegentlich, dann wieder: „Terra volvitur maxime Solaribus virtutum orbibus effusis luminibusque promoventibus“.[1]) Die Rolle, die das Licht dabei spielt, denkt, m. E., Gilbert sich etwa so, daß das von der Sonne ausgehende Licht gern aufgenommen wird von den bestrahlten Himmelskörpern, die seiner zur Erhaltung ihrer Lebewesen z. B. bedürfen. Doch eine zu lange Bestrahlung würde schaden, deshalb und weil alle Seiten bestrahlt werden wollen, tritt eine sukzessive Anziehung und Abstoßung jeder Stelle ein, mithin eine Rotation, zu der die magnetischen Pole die geeignete Axe geben. Die Funktionen der beiden nahverwandten virtutes effusae, — schon früher[2]) hat Gilbert den formalis actus magneticus, der nur mittelbar, in seinen Wirkungen, sinnlich wahrnehmbar ist, verglichen mit dem feinen Lichtstoff, der von einer Kerze ausgeht,[2]) — sind nicht immer scharf auseinandergehalten. Aber wie dem auch sei, es ergibt sich für das Sonnensystem, und damit, wie Gilbert andeutet, für die ähnlichen Systeme des Weltalls, folgendes Bild: Die Sonne ist umflossen einerseits von den magnetischen Effluvien, die außen von den Polen nach allen Punkten der Äquatorgegend und weiter zum Gegenpol strömen; diesem Wirbel des großen Magneten paßt sich der kleinere der Erde an nach Art der directio in polos. Andrerseits gehen virtutes Solares, im Wesentlichen Lichtstrahlen, von ihr aus und bewirken, daß die Planeten in beständiger kreisförmiger Bewegung um sie herumgeführt werden, also einen Wirbel bilden, dessen Axe die magnetische Sonnenaxe ist, während die Gestirne selbst um ihre eigne Magnetaxe rotieren.

---

1) p. 214, cf. 216 u. 225.

2) V,11, p. 198, 6. Z. v. unt. cf. II,7, p. 79. Über die Analogie zwischen Lichtstrahlen und magn. Kraftlinien bei Kepler s. Goldbeck a. a. O., p. 39ff., der hier Gilbert nicht erwähnt (s. S. 43).

IIb. Kosmogonie des Descartes.

Das ist aber auch das Gerippe für den mächtigen Weltenbau des Descartes! Manches, das bei Gilbert noch unklar oder ungewiß ausgesprochen ist — wie z. B. die Beziehung des Mondes zur Erde [1]) —, hat bei seinem Nachfolger seinen festen Platz und vieles, das sich der Kenntnis oder doch der Behandlung Gilberts entzogen hatte, fand wohlbegründet Aufnahme in das kartesianische System. Doch unschwer läßt sich erkennen und ist nach dem Gesagten fast in die Augen springend, wie sich aus der Idee der magnetischen Wirbel und der Kenntnis der kopernikanischen Entdeckung mit der streng mathematisch-mechanischen Methode des Descartes [2]) sein Kosmos konstruieren ließ. — Diese Methode erschwert freilich auch grade die Erkenntnis solcher Quellen, wie Laßwitz bemerkt: „Der methodische Gang des kartesischen Denkens verdeckt häufig den geschichtlichen Ursprung seines Materials.“ [3]) —

Der magnetische Zusammenhang [4]) zwischen den Gestirnen, speziell der Erde und Sonne, ist mit der Tatsache gegeben, daß die particulae striatae [5]) in derselben Weise durch alle hindurchströmen.[4]) Die Fixsterne oder Sonnen bilden ganz besonders starke, weitreichende Magnetwirbel, innerhalb deren sich die Planeten — z. B. die Erde — befinden und mit ihren kleineren Wirbeln sich entsprechend den magnetischen [6]) Gesetzen nach ihnen richten. Unendlich viele solche Wirbel erfüllen das Weltall [7]) ohne Zwischenraum. Doch noch in anderm Sinn sind die Gestirne Wirbel-

1) Näheres Teil III.

2) Für deren Durchbildung Galileis Arbeiten so wichtig und fördernd waren.

3) Laßwitz a. a. O. II, p. 55.

4) Pr. phil. III, §§ 105 ff. Es ist von einem beliebigen Gestirn die Rede, und in IV,133 ff. erfolgt die Anwendung auf die Erde speziell! (Vergl. III, § 91 Schluß!)

5) Vergl. Teil Ib. S. S. 31.

6) d. h. den für die part. striatae geltenden! cf. III, § 91.

7) Pr. phil. III, § 23 u. a.

zentren, nämlich für eine Bewegung, die um ihre Magnetaxe als Rotationsaxe geschieht,[1]) also in gewissem Sinn senkrecht zur vorigen. Die strömende Masse hierbei besteht zum größten Teil aus kugelförmigen Teilchen zweiten Elementes, dem Äther[2]) und beschreibt Kreise um die Drehaxe oder ebene Spiralen, die nach den Polen des Systems zu enger werden, sodaß solch ein ganzer Wirbel annähernd Kugelgestalt hat. Das gilt für die großen Sonnenwirbel wie für die kleineren Planetenwirbel, die von ihnen mitgeführt werden und selbst ihre Trabanten mitführen, wie z. B. Halme[3]) in einem Wasserwirbel mit fortbewegt werden und einzelne sich dabei auch noch um sich selber drehen. Die Drehung um die eigene Axe erklärt sich daraus, daß diese kleineren Centren früher selbständige Wirbel bildeten.[4]) Daß die Gestirne sich nicht durch ihre Größe, sondern auch dadurch unterscheiden, daß einige Licht aussenden, andre es nur reflektieren können, weiter die Entdeckung der Sonnenflecken bringt Descartes dazu, die Entstehung der dunklen, der Planeten und Monde, aus selbstleuchtenden direkt im Zusammenhang mit dem Hineinziehen in einen größeren Wirbel zu erklären. Das Licht ist nach ihm ein Druck der Kügelchen 2. Elementes, der sich radial vom Wirbelzentrum nach allen Seiten fortpflanzt infolge der Centrifugalkraft, die die rasche Rotation der Teilchen hervorruft. Die Ausbreitung dieses Druckes kann gehindert werden durch „Fleckenbildung", d. h., indem — nach mechanischen Gesetzen — gewisse aus unregelmäßigen Teilchen bestehende Massen sich bilden an der Oberfläche eines Gestirns, die den Kern allmählich ganz bedecken können. Dann kann der sehr schnell rotierende Stoff desselben seine Centrifugalkraft und seine mitreißende Kraft nicht genügend dem umgebenden Himmelsstoff mitteilen.[5]) Aus letzterem

1) Pr. phil. III, §§ 33, 87 ff.
2) Descartes braucht in der Tat das Wort Äther, z. B. Pr. phil. IV, § 134.
3) Pr. phil. III, § 30.
4) Pr. phil. III. § 150 z. B.
5) III, §§ 115 ff. der Pr. phil.

folgt, daß — mit der Geschwindigkeit — der Widerstand gegen die Bewegung benachbarter Wirbel an den Grenzen abnimmt, sodaß der stärkste von ihnen den ersten Wirbel schließlich aufsaugt. Je nach der Art, wie dies geschieht, entstehen Planeten oder Kometen, welch letztere sich keinem bestimmten Wirbel anschließen. Für die Tiefe des „Einsinkens" in den neuen Wirbel ist die Geschwindigkeit desselben — die nach Descartes vom Centrum aus erst abnimmt, dann aber wieder wächst, — und die eigne Dichtigkeit maßgebend, mithin eine Art hydrodynamisches Prinzip, während für Gilbert die magnetische Kraft dazu ausreichte, die Körper in einem festen Abstand zu halten. Näher auf die Beziehungen zwischen den Geschwindigkeiten der einzelnen Wirbelgebiete einzugehen, gehört nicht in den Rahmen dieser Arbeit. Von Interesse ist aber, in welcher Weise Descartes einen Zusammenhang zwischen den beiden verschiedenen Wirbelsystemen herzustellen sucht:[1]) Es ist einleuchtend, daß die verschiedenen Hauptwirbel der zweiten Art[2]) sich nur so benachbart sein können, daß die äquatorealen Teile des einen den polaren des andern zugewandt sind, denn sonst würden sie bei gleichem Bewegungssinn sich allmählich zu einem Wirbel vereinigen, bei entgegengesetztem ihre Bewegung gegenseitig zerstören. Infolge dieser Lage ist dem am leichtesten beweglichen Stoffe 1. Elementes, der dabei auch am wenigsten durch größere Teilchen gehemmt wird, Gelegenheit gegeben, der am Äquator stärksten Centrifugalkraft folgend von dort in den Pol eines andern Wirbels einzutreten. Dort finden sie wegen der geringen Geschwindigkeit kaum Widerstand und können leicht nahe der Axe gradlinig zum Centrum vordringen. Dort kommen ihnen vom entgegengesetzten Pol ähnliche Teilchen entgegen, und mit ihnen zusammen bilden sie — durch Fortstoßen der Teilchen 2. Elementes zum Äquator — einen flüssigen, in schnellster

1) Pr. phil. III,68 ff.

2) Wesentlich aus Teilchen 2. Elementes bestehend, die eigentlichen Sonnenwirbel. S. S. 47.

Rotation begriffenen Kern, etwa den Sonnenkörper. Immer weiter nachströmende Teilchen finden keinen Platz mehr. In spiraliger Bewegung,[1]) die aus der ursprünglich gradlinigen durch das Hineindrängen in die rotierende Masse der Kügelchen 2. Elementes entstanden ist und ihnen die in Ib geschilderte Gestalt gibt (s. S. 30), dringen sie durch den Kern hindurch. Am andern Pol desselben austretend werden sie von den Kügelchen des Äthers und den entgegenkommenden Teilchen 1. Elementes zum Umbiegen gezwungen, wie in Ib gezeigt ist. Wie dort ebenfalls gesagt wurde, ergibt sich auch jetzt aus der allgemeineren Vorstellung, daß nicht nur an den Polen,[2]) sondern fast den ganzen Halbkugelflächen die magnetischen Teilchen eintreten können. Die Öffnungen dazu und die nötigen Gänge, die „wie Schneckenhäuser" gewunden sind, bleiben auch in den Flecken erhalten und den allmählich sich daraus bildenden vollständigen Hüllen. So kommt es, daß auch die Planeten noch magnetisch sein können[3]) und ihre Axen in der ursprünglichen Lage beibehalten[4]) — wenn auch diese vielleicht wie bei der Erde einen Winkel bildet mit der Axe der Umlaufsbahn um die Sonne. Sie ist ja im Wesentlichen bestimmt durch die Richtung des magnetischen Fluidums an der betr. Stelle des größeren Wirbels. Die Abweichungen der Planetenbahnen von der Form des Kreises erklärt Descartes — wie auch schon Kepler[5]) —, durch die gegenseitige Beeinflussung der Planeten und ihrer magnetischen Kraftwirbel.[6]) Andre Einzelheiten, wie die Verschiebung der Äquinoktien, die fast vollständige Parallelität der Planetenbahnen[7]) u. a. m. unternimmt er

1) Pr. phil. III,72 u. 108.

2) Pr. phil. III,106.

3) Pr. phil. III, 143 u. 155. Vergl. Anm. S. 46 d. Arb. u. Kirchmann, p. 141 Anm.

4) Die Schiefe der Ekliptik wird hier (III, § 155) ganz ähnlich erklärt wie die Deklination.

5) Astr. Nova III,40, p. 192.

6) Descartes l. c. III,157.

7) Vergl. Kirchmann, p. 98 Anm.

garnicht zu erklären. Sie konnten einem Denker wie ihm vielleicht auch relativ indifferent sein, nachdem er mit so großem Erfolge seine Methode der mechanischen Erklärung bis hierher durchgeführt hatte und im Ausbau der Gilbertschen Wirbeltheorie, gerade durch Eingehen auf die mechanischen Beziehungen, zu einer Theorie gekommen war, die verband, was bei Gilbert noch ohne klaren Zusammenhang war, und in der Art der Verbindung gleichzeitig begründete, was der allgemeinen Vorstellung der „formalen Eigenschaft" Gilberts den bestimmten Inhalt der „gerieften Teilchen" gab.

Allerdings braucht er dazu oft reichlich gezwungene Annahmen[1]) und bleibt in der Erforschung der wirklichen Vorgänge hinter Zeitgenossen zurück, denen, wie Galilei und Kepler mehr daran als nur an einem geschlossenen System lag. Daher und vor allem weil er auch zweifellos von Gilbert gelernt hat, ist es interessant, die kosmischen Auffassungen Keplers noch kurz zum Vergleich heran zu ziehen. Wie Gilbert sucht dieser die Beziehungen der Himmelskörper physikalisch zu erfassen.[2]) (S. S. 41 f.) Seine exakten Beobachtungen z. B. der Planetengeschwindigkeit in ihrer Abhängigkeit vom Sonnenabstand führen ihn zu der Annahme, daß die Sonne die Quelle für die Planetenbewegung sei.[3]) Er nimmt daher an, sie sende ein immaterielles Agens aus — analog dem unstofflichen Licht![3]) —, das durch ihre Rotation auch in schnelle wirbelnde Bewegung versetzt wird. Die Verwandtschaft dieser Vorstellung mit den kartesianischen Wirbeln hat schon A. von Humboldt veranlaßt,[4]) diese als Ausbildung der ersteren anzusehen, und Whewell, sowie Reuschle schließen sich dieser Meinung an. Ich glaube nun, daß es berechtigt ist, den Ursprung der Idee Keplers

1) Vergl. Kirchmanns Fußnote, p. 241 u. Laßwitz a. a. O. II, p. 117.
2) cf. Reuschle a. a. O., S. 179. cf. Goldbeck zu dem Folgenden.
3) Kepler, Astr. Nova, Introductio, fol. 3 u. III,38, p. 184 u. a.
4) Kosmos IV. Whewell a. a. O., Reuschle S. 35 u. 170.

bei Gilbert zu suchen, bei dem sie sich ja tatsächlich[1]) findet. Und Kepler hat nach eigner Angabe Gilberts Buch gekannt und ist dadurch veranlaßt, die bewegende rotierende species als magnetische Kraft aufzufassen („Ratio motus eadem in Sole et magnete." Astr. Nova, p. 176) oder mindestens eine dieser sehr ähnliche Polarkraft. Dazu bewegt ihn vor allem, daß sie, wie die magnetische, anziehend und richtend wirkt (s. S. 16), und daß die Möglichkeit, daß die Gestirne Magneten seien, mit dem Erdmagnetismus von Gilbert bewiesen und für die übrigen Sterne schon benutzt worden war.[2]) Die erwähnte, von Gilbert so scharf herausgearbeitete Scheidung der doppelten magnetischen Wirkung benutzt er noch weiter in interessanter Weise zur Erklärung astronomischer Erscheinungen,[3]) ebenso die Verschiedenheit der beiden Pole[4]) und die Tatsache — besser: die wahrscheinliche Annahme —, daß nicht nur die Sonne, sondern auch die Planeten magnetische Eigenschaften haben und Kraft aussenden.[5]) Alle Anomalien so zu erklären gelingt freilich ihm so wenig wie Gilbert.[6]) In solchen Fällen ruft er einen Geist zu Hilfe („Mens accersatur"), der bestimmend eingreift, aber allerdings ohne die facultas animalis seu magnetica so wenig wirken könnte wie unser Wille ohne die Gelenke die Glieder bewegen kann.[7]) Mit dieser Vorstellung greift er auf Plato[8]) zurück, und sie steht gewiß nicht auf der Höhe der Descartesschen Klarheit und Konsequenz konkret-physikalischer Begriffe und mechanischer Erfassung der Vorgänge.

---

1) Gilbert VI,6, p. 323 u. 224. S. S. 44 d. Arb.

2) VI,6, p. 224 u. a., cf. p. 67 (II,4), V,12, p. 199 unt. Vergl. Goldbeck, p. 33 u. a.

3) Astr. Nova p. 271 ff.

4) Astr. Nova p. 273.

5) Astr. Nova p. 270.

6) Gilbert l. c. VI,9 (letztes Kapitel).

7) Astr. Nova p. 279 u. 280.

8) Harm. Mundi, p. 157.

III a. Physikalische Grundvorstellungen bei Gilbert.

Gilbert steht in der Beziehung etwa zwischen den beiden. Er sagt gelegentlich genau wie Kepler: „anima seu magnetico vigore . . .“ (p. 227) und ein ganzes Kapitel (V, 12) behandelt den Gedanken, die magnetischen Körper seien „beseelt“. Was Gilbert zu dieser Meinung veranlaßt, ist einmal die wunderbare Ordnung, die er in den magnetischen Körpern und Bewegungen erkannt hat,[1]) dann aber vor allem ihre Zweckmäßigkeit, die einerseits in dem Streben nach Harmonie und Übereinstimmung liegt, andrerseits in dem der Erhaltung und Förderung der Lebewesen auf der Erde und allgemeiner der Himmelskörper überhaupt. („Motus conservationis suae omnia astra habent“ u. a., cf. p. 200 b. Gilb.) Die anima der Magnete wird bald mit der Kraft identifiziert (s. ob.), bald von ihr unterschieden, indem sie die Körper regiert, doch das nicht ohne deren „eingeborene Kräfte“ tun kann.[2]) So ringt Gilbert, ähnlich wie ein Lionardo und Bruno vor ihm, ein Descartes und Leibniz nach ihm um die klare Fassung des Kraftbegriffs. Ebenso fehlt ihm auch noch der eigentliche Sinn des Naturgesetzes, das — nach einmaliger Voraussetzung der Gleichförmigkeit des Naturgeschehens — die Vorgänge in ihrem Kausalzusammenhang erfaßt und diesen festlegt, und statt dessen legt er eine Bewußtheit und Absicht der Handlungen in die Körper hinein, resp. setzt er neben die wirkende eine Zweckursache. Und doch hat er die mittelalterlich-mystischen Auffassungen schon eigentlich überwunden. Ihm ist doch die Erkenntnis der Gesetzmäßigkeit so zum Bewußtsein gekommen, daß er energisch die Meinung verwirft, als sei der Magnet ein „Lebewesen“[3]) — im Sinne einer Personifizierung —, das beliebig willkürlich handle.

---

1) Gilbert II,4, p. 70 u. a.

2) Gilbert VI,3, p. 209 Mitte. Vergl. bei Kepler S. 280 der Astr. Nova (s. v. S.).

3) II,2, p. 48. Vergl. auch II,39, p. 114 u. a.

Und noch einen Schritt weiter tut er mit dem Bestreben, die physikalischen Erscheinungen auf mechanische Vorgänge zurückzuführen. Darin auch ist er ein Vorläufer des Descartes, wenn er allerdings auch nirgends noch zu einem streng formulierten Gesetz kommt und von mathematischer Behandlung der Physik weit entfernt ist. Die Grundlage seiner Erklärungen bildet der Satz: „Nulla actio a materia fieri potest nisi per contactum!“ [1]) Das ist eine sehr reale konkret-mechanische Anschauung,[2]) die dem wissenschaftlichen Denken zunächst viel sympathischer ist als die von Newton,[3]) — auch nur zögernd, — eingeführte Fernkraft. Jedenfalls aber steht sie hoch über den bisher üblichen Erklärungsprinzipien der „Sympathie und Antipathie“, der geheimnisvollen Verwandtschaft und Feindschaft der Körper, von denen Gilbert sagt, daß es wohl hochtönende Worte seien,[4]) hinter denen aber keine deutlich zu erfassende und zu untersuchende Vorstellung stehe. Das Kontakt-Prinzip bildet auch den Ausgangspunkt für die Theorie der magnetischen Wirbel, denn es drängt dazu, bei der Erscheinung der Anziehung zweier sich nicht berührender Körper irgendein unwahrnehmbares Agens[5]) zwischen ihnen anzunehmen, das die Berührung vermittelt. Sehr eingehend untersucht Gilbert daher die verschiedenen Fälle von solchen Anziehungswirkungen, die er beobachtet hat, das sind die der elektrischen und magnetischen Körper und die Anziehung der Schwere, „motus ponderis.“[6]) Die letztere stimmt mit der elektrischen Anziehung darin überein, daß sie eine gradlinige Bewegung (s. S. 16) der Körper zueinander bewirkt,[7]) mit der magnetischen darin, daß sie durch

---

1) II,2, p. 59 Mitte.

2) — wohl durch Einflüsse, die von Lucrez kommen, geweckt, der die antike Atomistik übermittelte.

3) — eigentlich erst von seinen Nachfolgern.

4) II,2, p. 52.

5) II,2, p. 59ff.

6) VI,4, p. 217.

7) VI,4, Schluß und p. 62.

nicht von ihr bewegte Massen hindurchwirkt.[1]) Die Eigenschaft der Schwere illustriert Gilbert an der Anziehung der irdischen Wassermengen durch den Mond, die Ebbe und Flut bewirkt selbst für die dem Mond abgekehrte Seite der Erde, also durch diese hindurch. Laßwitz meint,[2]) Gilbert sähe hierin eine magnetische Wirkung des Mondes, doch da eine solche ausdrücklich nur den Magnet- und Eisenteilen zugeschrieben wird, kann ich diese Stelle nicht anders auffassen, als handle es sich um dieselbe Erscheinung, wie sie als Schwere beobachtet wird. Diese hätte Gilbert damit, freilich in noch sehr rudimentärer Art, angewandt auf außerirdische Vorgänge! Auf der Erde wird nach ihm die Schwerebewegung verursacht durch das Streben, das die Teile zum Ganzen haben, — so daß er mithin die allgemeine Massenanziehung noch nicht aussprach! —, sie ist ein „motus partium ad principium fontem." Ermöglicht wird sie durch die Luft:[3]) „— tellus mediante aere ad se revocat corpora", die ein Ausfluß der Erde ist (s. S. 43) und die Berührung zwischen den eigentlich erdigen Teilen mit dem ganzen Erdball vermittelt. Ganz entsprechend vermittelt der Äther die Berührung des Mondes und der ihm verwandten Teile der Erdoberfläche und ermöglicht deren Anziehung.[4]) Eine Verwandtschaft[5]) der sich anziehenden Körper ist also doch notwendig (s. ob.), doch beruht sie in ursprünglichen ganz bestimmten Eigenschaften der Körper, die für Elektrizität und Magnetismus näher definiert werden, für die Schwere dagegen nur behauptet. Doch liegt jedenfalls schon die richtige Anschauung zugrunde, daß die Schwere eine Eigenschaft der Materie sei, „motus coacervationis materiae ratione ad telluris corpus" (p. 217 VI, 4) nicht ein mystischer Zug zu irgend einem Ort.

1) II,16, p. 88.

2) a. a. O. I, p. 542. Vergl. auch Goldbeck, der (p. 16) Kepler den „genialen Schritt" zuschreibt, den hiernach Gilbert schon tat.

3) Gilbert p. 59.

4) Gilbert VI,5, p. 222, 13. Z. v. unt.

5) VI,5, p. 221 unten und II,16, p. 88.

Sicherlich hat die Erkenntnis der Erdrotation um die Sonne direkten Anstoß zur Überwindung jener alten Ansicht gegeben, — so hat auch Kopernikus schon sie verlassen in seinem Werk: De revolutionibus orbium coeclestium. 1543.[1])

Auch bei Kepler findet sich, in ganz ähnlichen Wendungen, dieselbe Definition der Schwere wie bei Gilbert: „Gravitas est affectio corporea mutua inter cognata corpora ad unitionem, quo rerum ordine est et facultas magnetica!“[2]) Das spricht deutlich den Zusammenhang zwischen Magnetismus und Schwere aus: sie sind von derselben Ordnung der Erscheinungen, auch bei Gilbert (s. S. 44). Wie dieser fügt Kepler hinzu: Gravia non feruntur ad centrum mundi ut ad centrum mundi, sed ut ad centrum rotundi cognati corporis, Telluris scilicet.“[3]) — Wenn daher gesagt worden ist,[4]) Newton habe seinen Gravitationsbegriff bei Kepler annähernd vorgefunden, so darf nicht vergessen werden, wieviel dieser von Gilbert gelernt hat.[5]) — Einen immerwiederkehrenden Einwand gegen die Kopernikanische Lehre und die neue Auffassung der Schwere, nämlich den, daß danach ein senkrecht hochgeworfener Körper nicht wieder den Ausgangspunkt erreichen könne, erklärt Gilbert[6]) — und nach ihm Kepler[7]) — für nichtig, da die Atmosphäre, die die Erde umgibt, mit dieser rotiere und die fallenden Körper mitführe. Auch das quantitative Element bei den Bewegungen der Schwere hat Gilbert bereits erkannt und beachtet, — ebenso wie beim Magnetismus[8]) und bei der Umlaufsgeschwindigkeit der Planeten um die Sonne, die mit wachsendem Abstand von dieser

---

1) Vergl. Laßwitz p. 541.

2) Kepler, Astron. Nova, Introductio fol. 4.

3) Kepler, Astron. Nova, Introductio fol. 4.

4) L. Günther, l. c. p. 73 und Seite 10 des Vorworts. A. v. Humboldt, l. c. III, p. 13, IV, p. 8.

5) Goldbeck erkannte dies schon bis zu einem gew. Grad, s. S. 52 u. 67.

6) Gilbert p. 222, VI,5.

7) Astr. Nova, Introductio.

8) Gilbert l. c. II,22. S. S. 21 d. A. Vergl. Laßwitz II, p. 542.

geringer wird.[1]) Das „Streben der Teile zum Ganzen“ ist umso heftiger, je größer und zahlreicher sie sind, daher das verschiedene Gewicht der Körper.[2])

Klarer als über die Ursache der Schwerwirkung spricht sich Gilbert über die der elektrischen und magnetischen aus. Auch sie werden nach seiner Grundvorstellung bewirkt durch Effluvien (vergl. Teil Ia), die sich aber fundamental unterscheiden müssen. Da die Körper, die wie der Bernstein leichte Teilchen jedes beliebigen Stoffes fest anziehen können,[3]) dies erst tun, nachdem sie leicht gerieben sind, und da sie alle einen gewissen weichen, vorm Festwerden schleimigen Charakter haben, so wird das elektrische Fluidum von der Art eines harzigen Saftes sein. Dieses bildet einen materiellen Bestandteil des elektrischen Körpers, von dessen festeren Teilen es sich infolge des Reibens löst, nach allen Seiten ausfließt, „tanquam extensis brachiis“[4]) die benachbarten Körper umfaßt und die leicht beweglichen mitführt zur direkten Berührung mit dem electricum und so „unum efficit ex duobus“. Das ist allgemein eine zweite wichtige Grundvorstellung Gilberts, — die vielleich auf pythagoräischen Einfluß zurückzuführen ist,[5]) — daß eine Vereinigung durch Berührung die eigentliche Einheit eines Körpers ausmacht. So wird die Erde in dieser Weise elektrisch zusammengehalten, „globus telluris per se electrice congregatur et cohaeret“ (p. 62), und bei den magnetischen Erscheinungen ist immer wieder von dem „in unum ferruminari“ die Rede, das durch enge Berührung des Verwandten unter dem Einfluß des entsprechenden Fluidums stattfindet.[6]) Doch ist das magnetische Fluidum in seiner Wirkung von dem elektrischen verschieden: es zieht nur gleichartige Körper an, diese aber

1) Gilbert VI,6, p. 224.
2) Vergl. Laßwitz l. c., pag. 542.
3) II,2, p. 59f. Vergl. E. Hoppe, l. c., p. 4—7.
4) p. 61, II,2.
5) p. 59, II,2.
6) Vergl. Teil Ia.

selbst, wenn sie sehr schwer sind, und es wirkt durch andre sogar feste Körper hindurch.[1]) Aus alledem schließt Gilbert, wie schon früher gezeigt ist (s. S. 12), daß es nicht materiell sein kann. Er nennt es daher eine virtus formalis, die mit dem zweiten Prinzip der Körper, der Form nämlich, zusammenhängt. So aristotelisch diese Unterscheidung klingt, so wenig liegt darin noch der alte Sinn.[2]) Einerseits ist die potestas formalis etwa als eine innere Anordnung der Teilchen zu verstehen, wie im 1. Teil gezeigt ist, andrerseits bleibt es unklar, ob man dabei die virtus fundens im Sinne einer doch schließlich materiellen Strömung aufzufassen hat, worauf die Ausdrücke und Veranschaulichungen Gilberts durchaus schließen lassen,[3]) wie auch die actio per contactum es erfordert, oder ob man mathematische Kraftlinien darunter verstehen soll, längs deren sich in irgend einem Medium physikalische Spannungen und Drucke fortpflanzen. Die Unklarheit, die hier vorliegt und es noch nicht zu einer ganz deutlichen Formulierung des Problems kommen läßt, hat zum Teil ihren Grund darin, daß für den Experimental-Physiker die rein theoretische Begriffsscheidung zurücktritt hinter dem Interesse an einer praktisch brauchbaren Vorstellung. Vor allem aber mußten für die neuen Begriffe auch erst langsam die Namen sich bilden und unter den Physikern sich einbürgern.

Von dem oben geschilderten Standpunkt aus waren zwei Wege möglich: Entweder man tat den Schritt, die Kraft als etwas Abstraktes zu konzipieren und verzichtete auf eine deutliche Vorstellung von ihrer Wirkungsweise, oder man sah die Materie als einziges physikalisches Prinzip an, das die Eigenschaft der Bewegung besitzt, und führt auf diesem Boden das Grundprinzip der actio per contactum konsequent durch.

---

1) Vergl. Teil Ia.

2) Gilbert II,4, p. 67.

3) Vergl. auch Keplers verwandte Bilder dazu, Astr. Nova, S. 185 und 270.

IIIb. Physikalische Grundvorstellungen bei Descartes.

Es lag im Geist der Zeit,[1]) daß dieser letztere Schritt zuerst geschah. Descartes war es, der ihn vollzog. In ausgeprägtem Dualismus teilt er alles selbstständig Existierende, alle „Substanz“,[2]) ein in denkende und ausgedehnte. Die „res mere cogitans“, die „mens“, wird völlig aus der Physik verbannt, denn diese hat es nur mit den Körpern als solchen zu tun. Was aber das Wesen der substantia corporea, ihre „praecipua proprietas“, ausmacht, das ist die Ausdehnung. Diese ist realiter dasselbe wie die Materie. Zu diesem rein Mathematischen kommen als wichtigste „Modi“ der Ausdehnung[3]) Gestalt und Bewegung hinzu, mit deren Hilfe die physikalische Materie definiert ist, — der also alle inneren Kräfte abgesprochen sind. Die Summe der Materie wie der Bewegung bleibt konstant! — Dieser Satz, den Descartes aus metaphysischen Gedankenreihen folgert, bildet, in seiner Ausprägung nur weiterentwickelt, die Grundlage der modernen Physik! — Die quantitative Ausprägung der Modi, wie sie den Teilen der unendlichen kontinuierlichen Materie zukommt — die sich überhaupt nur durch die Verschiedenheit derselben unterscheiden — kann dagegen wechseln; und dieser Wechsel von Bewegung und Gestalt macht das Wesen der Naturerscheinungen aus. Er findet statt bei Berührung durch sog. „Druck und Stoß“: „Nulla actio sine contactu“ auch hier! Die mathematischen Gesetze, die Descartes, weit über Gilbert hinausgehend, für diese Übertragung der Bewegung gefunden zu haben glaubte, sind zum großen Teil falsch,[4]) vor allem weil er die Geschwindigkeit als Skalar statt als Vektor behandelt, um einen modernen Ausdruck zu gebrauchen. Doch die Einzel-

1) Vergl. Laßwitz, z. B. I, S. 513.

2) Pr. phil. I. 51 ff.

3) Also nicht eigentlich als „Eigenschaft“ (s. v. S. unten), die bei Desc. „Attribut“ heißt, sondern als von außen — von Gott — Hinzugefügtes.

4) Näheres bei Laßwitz a. a. O. II,62 ff. u. a. cf. Kirchmann p. 74 f.

heiten seiner Theorie sind hier nicht von Bedeutung. Es soll nur noch kurz dargestellt werden, wie Descartes die Wirbelbewegung, die ihm nach Gilberts Vorbild zur Erklärung der Magneterscheinungen und kosmischer Vorgänge diente, ableitet aus den obigen Definitionen und Axiomen. Als wichtigste Folgerung daraus ist zunächst noch zu bemerken, daß es nach Descartes keine Grenze der Materie gibt, da der Raum unendlich ist, und auch keine Grenze der Teilbarkeit des Stoffes und keinen leeren Raum.[1])

Ursprünglich hatte der Schöpfer den Raum kontinuierlich erfüllt mit unendlich vielen wesentlich gleich großen Teilchen, die sich durch ihre Gestalt und Bewegungsgröße unterschieden (s. v. S.). Sie hatten das Bestreben, diese beizubehalten (Beharrungsgesetz!), woran sie durch den Anprall an die benachbarten Teilchen aber verhindert wurden. Ein Vorwärtsbewegen, indem die raschesten Teilchen andre mitreißen, kann in dem völlig erfüllten Raum nur so stattfinden, daß geschlossene Bahnen beschrieben werden. Ein allmählicher Ausgleich bewirkt, daß dieses Kreise werden, in deren Zentrum die schnellsten und kleinsten Teilchen wirbeln und die andern mitziehen. Die Gestalt der Teilchen wird natürlich auch geändert, indem die meisten sich abrunden zu mittelgroßen Kügelchen, zwischen denen die kleinen abgestoßenen Teilchen sich sehr rasch hindurchbewegen (vergl. S. 30), oder, wenn sie großen Widerstand finden, zu komplizierten langsamen Teilchen zusammenballen (Fleckenbildung, z. B.). Einen zusammengehörigen Körper bilden sie lediglich durch Berührung — wenn sie in Größe und Richtung der Bewegung übereinstimmen, natürlich! —: „nullo glutino duo corpora melius posse alligari quam immediato contactu". (Pr. phil. IV, 172.) Diese schon von Gilbert her bekannte Vorstellung stützt Descartes noch durch seine eigentümliche, rein geometrische Definition der Bewegung

1) Vieles bei Descartes, z. B. die Bewegung der gerieften Teilchen durch die Gänge, ist freilich mit der Ablehnung eines leeren Raumes schwer vereinbar. Vergl. auch Laßwitz II, p. 71 und 112.

als einer Lagenveränderung eines Teilchens in Bezug auf seine Nachbarschaft. Bei seiner mathematisch-mechanischen Methode ist dieser Relativitätsgedanke garnicht so gekünstelt wie man ihm vorgeworfen hat;[1]) und besonders interessant ist, daß sich bei Gilbert[2]) — und auch bei Bruno — schon eine ganz ähnliche Analogie findet wie Descartes hierzu sie heranzieht: Ein Schiffer, der auf seinem fahrenden Schiff steht, ist zwar in Beziehung auf das Schiff betrachtet in Ruhe, aber als Teil des ganzen Schiffes betrachtet in Bewegung, da dieses sich gegen seine Nachbarschaft verschiebt.

Wie irgend ein Körper auf der Erde, so bilden auch die in IIb näher geschilderten Wirbel Einheiten im phoronomischen Sinn. Die in ihnen wirksame Zentrifugalkraft, die durch das Beharrungsvermögen erklärt wird[3]) (s. S. 59), und die Verschiedenheit der drei Elemente dienen zur Erklärung der Gravitation und ähnlich der Schwere. Ein Planet z. B. nimmt den Abstand von der Sonne ein (und bewahrt ihn), der ihn in die Wirbelschicht führt, die die gleiche Geschwindigkeit hat wie er selbst. Das Gilbertsche „Streben der Teile zum Ganzen" erhält hier den Sinn, daß Gleichförmigkeit der Bewegung, — die einen Körper, ein Ganzes hervorruft,[4]) — das natürliche Ziel aller Naturvorgänge, das Ende aller kosmischen Entwicklung ist!

C.

So wichtig dieser Gedanke einer Entwicklung bei Descartes ist, da er den gegenwärtigen Zustand des Kosmos aus seiner Entstehungsgeschichte verständlich macht, so wenig hat

---

1) — speziell in Betreff seiner Anwendung desselben auf die Erdbewegung. — Dazu Laßwitz, II, S. 69.

2) Gilbert p. 210.

3) Pr. phil. III,59. NB. Bei Kepler fehlt noch das Trägheitsgesetz, der deshalb dauernd von der Sonne ausströmende Kräfte braucht. Dazu Günther l. c. p. 62ff.

4) Laßwitz II, S. 59, 100 u. a.

er seinen Urheber dazu verleitet, die Kenntnis des Entwicklungszieles zu mißbrauchen durch Einführung einer Zweckursache in die streng kausale Erklärung. Darin und in der Neigung zu konkreter mechanischer Erklärung reicht das System Descartes' an die Naturwissenschaft unsrer Tage heran. Aber es besteht auch noch immer der Zusammenhang mit seiner berühmten Wirbelkosmologie. Denn die Systeme eines Kant und Laplace, wie schon vorher das weniger bekannte Swedenborgs, fußen auf ihr! Und daß Gilberts Werk über den Magneten zu ihrer Entstehung viel beigetragen hat, glaube ich gezeigt zu haben.

Zu der vorliegenden Arbeit wurde ich angeregt durch meinen Onkel, Herrn Prof. Dr. E. Hoppe in Hamburg. Es ist mir eine Freude, ihm auch an dieser Stelle für die Anregung und seinen sachkundigen Rat zu danken. Ebenso ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Dorn für das liebenswürdige Interesse und die freundliche Unterstützung bei der Fertigstellung der Arbeit meinen aufrichtigen Dank auszusprechen. Auch Herrn Prof. Dr. Menzer danke ich verbindlichst für freundlichen Rat.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Marie-Luise Hoppe, am 3. November 1890 in Markoldendorf (Han.) als Tochter des damaligen Superintendenten, jetzigen Wirkl. Geh. Oberkonsistorialrats Generalsuperintendenten D. Dr. Hoppe und seiner Gemahlin Elfriede, geb. Dieckmann. Von Michaelis 1897 bis Ostern 1906 besuchte ich die Höheren Töchterschulen (jetzt Lyceen mit Oberlyceum) in Hannover und Hildesheim. Dann trat ich in die realgymnasiale Studienanstalt in Hannover ein, die ich Ostern 1910 mit dem Reifezeugnis verließ, um Mathematik und Physik zu studieren. Die drei ersten Semester, S.-S. 1910 bis S.-S. 1911, studierte ich in Göttingen, W.-S. 1911/12 in Paris und seit Ostern 1912 in Halle a. S.

Meine Lehrer waren die folgenden Herren Professoren und Dozenten:

in Göttingen:

Althaus, Bonwetsch, Brandi, Haar, Landau, G. E. Müller, Riecke, Runge, Stimming, Titius, Toeplitz, Wiechert;

in Paris:

Andler, Boussinesq, Bouty, Darboux, Ehrhardt, J. Monnier, Perrin, Poincaré, Strowsky;

in Halle:

Büchsel, Dorn, Gutzmer, Krueger, Loofs, Menzer, K. Schmidt, Tubandt, Vorländer, Wangerin, Wigand.

Alle meine hochverehrten Lehrer mögen meines dauernden Dankes versichert sein.